This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

H. HAAS

UNTERIRDISCHE GLUTEN

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class

Unterirdische Gluten

Der Vesuv im Ausbruch, April 1906.

Unterirdische Gluten

Die Natur und das Wesen der Feuerberge im Lichte der neuesten Anschauungen für die Gebildeten aller Stände in gemeinverständlicher Weise dargestellt

von

Dr. phil. Hippolyt Haas

o. Honorarprofessor an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Geh. Regierungsrat

Mit einer Tafel und 97 Abbildungen im Text

„Denn unser Wissen ist Stückwerk"
(1. Kor. 13,9)

1. Tausend

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Berlin 1910
Alfred Schall
Königl. Preuß. u. Herzogl. Bayer. Hofbuchh.
Verein der Bücherfreunde

QE522.
H2

GENERAL

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

An Stelle des vorliegenden Buches sollte im laufenden Jahrgang der Publikationen des Vereins der Bücherfreunde eigentlich ein andres aus meiner Feder erscheinen. Während ich daran arbeitete, erhielt ich von seiten meines Herrn Verlegers die erfreuliche Mitteilung, daß mein vor einer Reihe von Jahren in den ebengenannten Veröffentlichungen gedrucktes Buch: „Der Vulkan“ dringend einer Neuauflage bedürfe. Da eine solche einen ziemlichen Aufwand an Mühe und Zeit erforderte und ich mich verschiedener Umstände halber in der Unmöglichkeit befand, zwei Bücher zugleich zu verfassen, da ich ferner der Überzeugung bin, daß gerade in den Tagen der Gegenwart eine den neuesten Forschungen auf dem Gebiete des Vulkanismus gerecht werdende Schrift den Mitgliedern des Vereins doch noch willkommener sein müßte, als eine andre geologische Dinge behandelnde, so habe ich den Herrn Verleger gebeten, diese letztere für den kommenden Jahrgang zurückzustellen und an ihrer Stelle die neue und verbesserte Auflage des „Vulkan“ in anderm Gewande zu bringen. Ich habe mich erboten, bei den Mitgliedern des Vereins der Bücherfreunde dieserhalb um Indemnität nachzusuchen, was hiermit geschieht.

219159

Auch unter anderm Titel erscheint diese Neuauflage, einem Wunsche der Verlagsbuchhandlung gemäß, dem ich gern nachgekommen bin. Wenn die ursprüngliche Einteilung des Stoffes auch in den „Unterirdischen Gluten" beibehalten wurde, so hat derselbe doch an sehr vielen Stellen eine gründliche und zeitgemäße Umarbeitung und Vervollständigung erfahren und manche neue Abbildungen sind hinzugekommen, die nicht mehr auf einzelnen Tafeln erscheinen, sondern dem Texte beigedruckt sind. Dann habe ich, um einen seinerzeit in den kritischen Besprechungen des „Vulkan" laut gewordenen Wunsch zu erfüllen, den Text an den entsprechenden Stellen mit literarischen Hinweisen auf die Quellschriften versehen.

Die nachstehenden Seiten sind ursprünglich aus einer Reihe von Vorträgen entstanden, die ich vor längerer Zeit in den Volkshochschulkursen zu Kiel und dann später noch mehrmals in wissenschaftlicherer Form für die Allgemeinheit der Studierenden an der Universität in dieser Stadt gehalten habe. Und so ist wohl auch etwas von dem akademischen Charakter, wenn ich so sagen darf, an meinen Darstellungen haften geblieben, das ich beibehalten zu sollen glaubte. In erster Linie im Umstande, daß ich die zuweilen so sehr verschiedenen und sich widersprechenden Ansichten über das Wesen der vulkanischen Dinge im engeren Sinne einzeln zu Worte kommen ließ und dieselben einander gegenüberstellte. Auf solche Weise hoffte ich meinen Lesern die Möglichkeit zu bieten, sich selbst im Widerstreit der aufeinanderplatzenden Anschauungen ein Urteil zu bilden und diejenigen herauszugreifen, die ihnen als die richtigsten und der objektiven Wahrheit am nächsten kommenden erschienen. Liegt doch meiner Meinung nach der Kernpunkt des akademischen Vortrags weniger in der Kritik des Lehrers, die nie ganz objektiv sein kann, — denn für diesen gilt auch der Satz: „Homo sum; humani nihil a me alienum puto," — als vielmehr im Hervorrufen kritischer Betrachtungen bei den Zuhörern! Die Worte: „Audiatur et altera pars" sollten hier vollends nie vergessen

werden, wo wir so viel mit Rastvorstellungen und nur sowenig mit absolut Sicherem arbeiten müssen. Wenn die Faustverse:

„Geheimnisvoll am lichten Tag
Läßt sich Natur des Schleiers nicht berauben,
Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag,
Das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln und mit Schrauben"

schon für die phänomenalen Wissenschaften leider nur allzuoft zur Wahrheit werden, wieviel mehr noch für die Vulkanologie! Bescheidenheit ist hier sehr am Platz, ohne daß sie aber darum Resignation zu sein brauchte. Diesem von mir vertretenen Standpunkt möchte ich auch durch das Leitwort Ausdruck geben, das ich, wie vor sechs Jahren dem „Vulkan", so auch diesem Buch auf das Titelblatt gesetzt habe.

Kiel, im Sommer 1910.

Hippolyt Haas.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort V

Erster Abschnitt: Einleitendes. Neuere Ansichten über den Aggregatzustand im Erdinnern 1

Zweiter Abschnitt: Der Streit um die vulkanische Spalte 40

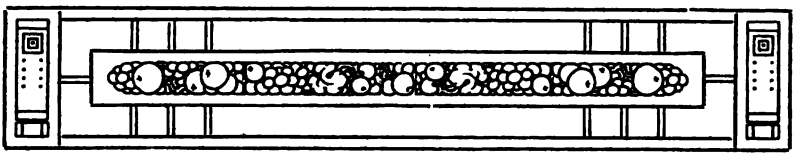
Dritter Abschnitt: Der Mechanismus des Vulkans. a) Die treibende Kraft 86

Vierter Abschnitt: Der Mechanismus des Vulkans. a) Die treibende Kraft (Fortsetzung und Schluß) 122

Fünfter Abschnitt: Der Mechanismus des Vulkans. b) Der äußere Teil der Maschine 152

Sechster Abschnitt: Die verschiedenen Äußerungsformen der vulkanischen Tätigkeit 241

Siebenter Abschnitt: Unterseeische Eruptionen 298



Erster Abschnitt.

Einleitendes. Neuere Ansichten über den Aggregatzustand im Erdinneren.

Einleitendes. Was ist Vulkanismus? Was ist über die Tiefen der Erde bekannt? Die Dichtigkeit des Erdkörpers. Der eiserne Erdkern. Ältere Ansichten über den Aggregatzustand der Materie im Erdinnern. Die Nebularhypothese und die Konglomerattheorie. Beide sind Rastvorstellungen. Die invariable Fläche. Wärmezunahme im Erdinnern. Geothermische Tiefenstufen. Fernere Beweise für eine Wärmequelle im Innern des Planeten. Isogeothermen. Das Radium als Wärmeerzeuger im Erdinnern. Toulas Meinung vom Zustand des Erdinnern. Kontinuitätshypothese Günthers. Anschauungen Pencks. Stübels Lehre von der Panzerdecke. Lord Kelvin und F. Ratzel. Hopkins Forderung eines starren Erdkörpers. Reyer. Svante Arrhenius. Wiecherts Folgerungen aus den Ergebnissen der neueren Erdbebenforschung.

Nur sehr wenige Naturerscheinungen auf Erden sind so sehr geeignet, den menschlichen Geist in intensiverer Weise zu fesseln, sein Denken und Forschen in höherem Maße anzuregen, als die Tätigkeit der Vulkane und als die Frage nach ihrer Entstehung. Vollends in Tagen, wie die Gegenwart sie gebracht hat, in Zeiten, da die geheimnisvollen Kräfte der Unterwelt wieder einmal, wie schon so oft, plötzlich und unerwartet blühende Städte vernichtet, reich gesegnete fruchtbare Landstriche versengt haben, und ganze Inseln dem Untergang und der Vernichtung durch die brennenden Gewalten des Erdinnern geweiht scheinen! In solchen Perioden drängt sich die Frage nach dem Warum und Wie dieser Dinge besonders gern in den Vorder-

grund, und der Fachmann, der Geologe, soll dann Aufklärung geben über die Ursachen, welche diese grauenerregenden Phänomene heraufbeschworen haben.

An und für sich ist der Ausbruch eines Vulkans gerade kein weltbewegendes Ereignis, zumal die Feuerberge in nicht eben sparsamer Weise über das Erdenrund verteilt sind. Hat doch schon Alexander von Humboldt deren über 220 gezählt, und das zu einer Zeit, in der die Erdoberfläche im Verhältnis zu unsrer jetzigen Kenntnis von derselben nur recht mangelhaft bekannt gewesen ist! Kaum eine Woche, ja kaum ein Tag vergehen, an dem nicht da oder dort auf dem Geoid ein vulkanischer Ausbruch stattfände, und es müssen schon ganz besondere Verhältnisse und Umstände vorwalten, um eine derartige Begebenheit zu einem die allgemeinere Aufmerksamkeit der Menschheit in Anspruch nehmenden Ereignisse zu stempeln. Die erste historische Eruption des Vesuv im Jahre 79 n. Chr., unter des Titus Regierung, und der Kataklysmus am Krakatau im Mai 1883 sind beispielsweise solche Marksteine gewesen.

Derartige innerhalb der Grenzen der zivilisierten Welt sich abspielende Katastrophen prägen sich dem Gedächtnis unsres Geschlechts naturgemäß dauernd ein, während andere, vielleicht nicht minder großartige und gewaltige wohl des öftern ziemlich unbeachtet vorüber gehen werden, weil die fernabgelegenen Gegenden, in denen sie sich vollzogen haben, sich nicht so sehr im Mittelpunkt des allgemeinen Interesses befinden, wie etwa die Martinique, und weil wegen der mangelhaften oder ganz fehlenden Verbindung des Ortes ihres Auftretens mit der übrigen Erde die Kunde davon sehr schwer, manchmal auch gar nicht bis in das Herz der Kulturstaaten hineinzudringen vermag.

Das, was man wissenschaftlich unter der Bezeichnung Vulkanismus versteht, beschränkt sich nicht allein nur auf das Wesen der Feuerberge selbst; es wird vielmehr unter diesem Begriff die Gesamtheit aller derjenigen Erscheinungen zusammengefaßt, die nach unsern Ansichten oder gemäß unsern Erfahrungen

mit dem Vorhandensein glutflüssiger Materie unterhalb, vielleicht auch innerhalb der festen Gesteinshülle des Planeten in einem Zusammenhange stehen. Dahin gehören also auch diejenigen Vorgänge auf dem Geoid, die man Erdbeben nennt, die gebirgsbildenden Kräfte und die heißen Quellen. Darum kann man auch unterscheiden zwischen einem Vulkanismus im engeren Sinne, der lediglich nur die Vulkane selbst, ihr Werden und Vergehen in das Bereich seiner Betrachtung zieht, und einem solchen im weiteren Sinne, in dessen Rahmen auch die soeben erwähnten andern Naturerscheinungen gehören, und die Erörterung der gemeinschaftlichen Ursachen dieser Dinge.

Das Wesen des Vulkanismus beruht auf dem Hervortreten und in den Äußerungen von Kräften, die in der Natur und Beschaffenheit des Planeten selbst begründet sind, — die interne Geodynamik. Im Gegensatz dazu stehen diejenigen Vorgänge auf der Erdoberfläche, die durch äußere, in ihrer Tätigkeit durch die Sonnenenergie und die Schwerkraft bedingte Agentien hervorgebracht werden, wie beispielsweise die geologische Arbeit des Wassers und der Atmosphäre, die also durch Umstände erzeugt sind, deren Entstehungsursachen außerhalb des Planeten, und zwar in dessen Beziehungen zu andern Himmelskörpern wurzeln, — die externe Geodynamik.

Innere und äußere Geodynamik liegen miteinander in fortwährendem Kampfe. Das, was die aristokratischen Gewalten der Tiefe an der Erdoberfläche auftürmen, muß den Angriffen der hier wirkenden Kräfte zum Opfer fallen, die, demokratisch gesinnt, einen großen Nivellierungsprozeß, einen allgemeinen Gleichgewichtszustand herzustellen stetig bestrebt sind.

Unsre weiter oben gegebene Definition des Vulkanismus setzt das Vorhandensein glutflüssiger Materie im Erdinnern voraus. Treten wir der Frage, was uns zu dieser Voraussetzung berechtigt, etwas näher!

In runden Zahlen ausgedrückt, beträgt der Erdhalbmesser 6377 km am Äquator und 6356 km an den Polen. Das tiefste

bis jetzt in die Erde hineingetriebene Bohrloch, dasjenige von Czuchow bei Czerwionka in Oberschlesien, hat 2239,72 m erreicht[1]). Das ist gleich $^1/_{2847}$ des äquatorialen und $^1/_{2838}$ des polaren Erdradius. Mit andern Worten: wir kennen vom Erdinnern jetzt etwa $^1/_{2840}$ des Erdhalbmessers, von den übrigen $^{2839}/_{2840}$ wissen wir bestimmtes nicht! Für unsre Kenntnis dieser sind wir lediglich nur auf Vermutungen und Hypothesen angewiesen, auf Ansichten, die allerdings nicht nur aus der Luft gegriffen wurden, sondern auf Erfahrungen beruhen, die wir den chemischen und physikalischen Vorgängen auf der Erdoberfläche und den Errungenschaften der Astronomie verdanken. Immerhin sind es nur Vermutungen und Hypothesen und keine feststehenden Sätze, wie diejenigen es sind, mit denen wir arbeiten können, wenn es sich darum handelt, die zur externen Geodynamik gehörigen Dinge zu ergründen.

Vor einem halben Jahrhundert hatte Karl Friedrich Naumann, einer der Erzväter der Geologie und weiland Professor dieser Wissenschaft an der Leipziger Hochschule, die Worte geschrieben: „Das Innere unseres Planeten ist für unsere unmittelbaren Wahrnehmungen so unerreichbar, daß man es auf den ersten Blick für ein verwegenes und fruchtloses Beginnen halten möchte, irgend etwas Bestimmtes über seine Beschaffenheit ausmitteln zu wollen. Indessen sind die uns ewig verschlossenen Abgründe der Tiefe gewissermaßen denen uns gleichfalls unerreichbaren Fernen des Himmelsraumes zu vergleichen, und wie wir über diese letzteren wesentlich durch das Licht belehrt werden, so gewinnen wir über das Erdinnere den wichtigsten

[1]) Das tiefste Bohrloch der Erde war bislang dasjenige von Paruschowitz V, das bereits im November 1908 von demjenigen von Czuchow überholt worden ist. Letzteres sollte ursprünglich bis auf 2500 m Tiefe niedergebracht werden, was vom technischen Standpunkt aus wohl zu erreichen gewesen wäre, doch zwangen andere Gründe zur Einstellung der Bohrung im März 1909 bei der obenerwähnten Tiefe. (Michael, Über die Temperaturmessungen im Tiefbohrloch Czuchow in Oberschlesien. In: Monatsberichte der Deutschen geologischen Gesellschaft, Bd. 61, 1909, No. 11.)

Aufschluß durch die Wärme. Der Astronom befragt den aus unendlicher Ferne kommenden Lichtstrahl, der Geolog den, wie der Bergmann sagt, aus ewiger Tiefe hervorbrechenden Wärmestrahl."

Eng verbunden mit der Frage vom Zustand des Erdinnern, über die uns der aus der ewigen Teufe hervorbrechende Wärmestrahl Auskunft geben soll, ist die andere nach dem spezifischen Gewicht, nach der Dichtigkeit des Erdkörpers, die wir zuerst kurz erörtern wollen. Die Gesetze der Schwerkraft sind es, die uns eine Vorstellung davon gestatten. Bereits vor 127 Jahren sind die ersten diesbezüglichen Ermittlungen gemacht worden, und zwar von Hutton und Maskelyne am Berge Shehallien in Schottland, vermittels der Methode der Lotablenkung. Diese Untersuchungen ergaben den Wert 4.71 für die mittlere Dichtigkeit der Erde. Viel Zeit und noch viel mehr Scharfsinn wurden seither aufgewendet, um noch genauere Resultate zu bekommen, die älteren Beobachtungsmethoden wurden verbessert und verfeinert, neue kamen hinzu. Airy benutzte die Methode der Pendelschwingungen in einem tiefen Schacht, Carlini die gleichen auf einem hohen Berg, dem Mont Cenis, ebenso Mendenhall auf dem Fudschi-Yama in Japan. Lord Cavendish und andere Forscher wendeten die von Mitchell erfundene Drehwage an, und so ist das fortgegangen bis in die gegenwärtigen Zeiten. So verschiedenartig wie die einzelnen Untersuchungsmethoden sind auch die Resultate gewesen, die sie gezeitigt haben. Berget erhielt beispielsweise den Wert 5.41 für das spezifische Gewicht der Erde, Mendenhall 5.77, Lord Cavendish 5.48, Jolly 5.692. Der letzgenannte ist der größte bisher gewonnene, wenn man die ganz zuverlässigen Beobachtungen in Betracht zieht, und als aus diesen genommenen Mittelwert für die Dichte der Erde wird man am besten 5.57 setzen; derselbe ist jedenfalls größer als 5,4 und kleiner als 5,7.

Nun beträgt die mittlere Dichtigkeit der die Gesteinshülle, die Lithosphäre unsers Planeten bildenden Felsarten, soweit die-

selben uns bekannt und unsern Untersuchungen zugänglich sind, etwa 2.6—2.7. Und wenn wir die vom Ozean bedeckten Areale mit in Rechnung ziehen, so sinkt der Wert für die mittlere Dichte der ganzen Erdoberfläche gar auf 1.6 herab. Daraus ist zu folgern, daß das spezifische Gewicht der innern Regionen unseres Planeten noch viel höher sein muß als 5.57. Laplace hat die Dichte des Erdkerns einmal zu bestimmen versucht, indem er seinen Arbeiten eine Dichtigkeitszunahme in arithmetischer Progression zugrunde legte, und bekam als Resultat die Zahl 10.047, während Plana bei Annahme eines spezifischen Gewichts der Erdoberfläche von 1.877 sogar den Wert 16.73 für die Kerndichte herausrechnete.

Der aus allen diesen Ergebnissen gezogene Schluß, im Erdinnern seien sehr schwere Stoffe gelagert, lag nahe, und so war denn schon vor längerer Zeit der Gedanke aufgetaucht, diese Massen müßten aus Eisen bestehen. Das spezifische Gewicht dieses nächst dem Aluminium die größte Verbreitung in den uns bekannten Zonen der Erdrinde besitzenden Metalls ist = 7.844 in reinem Zustand. Ein amerikanischer Gelehrter, J. D. Dana, konnte den Nachweis dahin erbringen, daß sich die Behauptung vom eisernen Erdkern sehr gut mit der ermittelten Dichtigkeit des Planeten vereinigen lasse. Etwa zwei Drittel der Erdmasse würden aus Eisen bestehen, und es müßte der eiserne Kern ungefähr bei 800 km Tiefe beginnen[1]). In der großen Verbreitung, welche das genannte Element auch in kosmischer Hinsicht besitzt, erhält diese Ansicht eine wesentliche Stütze. Wir erinnern nur an die zahlreichen, aus gediegenem Eisen bestehenden meteoritischen Massen, die auf die Erde niederfallen und doch nur die Bruchstücke anderer, in stofflicher Beziehung unserm Planeten analog gebauter Gestirne sind. Übrigens sind ja die

[1]) On some Results of the Earth's Contraction from cooling, including a discussion of the Origin of Mountains, and the Nature of the Earth's Interior. In: The American Journal of Science and Arts, 1873, III. Serie, V, pag. 423—443; VI. pag. 6—14.

weiteren an der Zusammensetzung der Meteoriten teilnehmenden Massen ebenfalls als Konstituenten der Erdrinde bekannt.

Schon früher ist dem Gedanken Ausdruck verliehen worden, daß die Annahme eines aus Stoffen von sehr hohem spezifischen Gewicht bestehenden Erdinnern eigentlich gar nicht notwendig sei, um die festgestellte mittlere Dichtigkeit des Geoids zu erklären. Die Dichte der atmosphärischen Luft zum Beispiel — dies wurde zur Stütze dieser Behauptung vorgebracht —, müsse wegen des nach dem Erdinnern zu immer größer werdenden Druckes schon in 7.6 Meilen Tiefe derjenigen des Wassers gleichkommen, in einer solchen von 11 Meilen das spezifische Gewicht des Platins erreichen; in 20 Meilen Tiefe würde das Wasser seine Dichtigkeit verdoppeln, und in 80 Meilen Tiefe eine solche des Quecksilbers besitzen. Und zöge man den nach Herschels Berechnungen im Erdmittelpunkt wirkenden Druck in Betracht, das sind 300 000 Atmosphären oder 309 900 kg auf den Quadratzentimeter, so müßte Stahl auf den vierten Teil seines Volumens zusammengedrückt werden können. Dieser Einwurf jedoch darf keinen Anspruch auf Stichhaltigkeit machen, weil die Zusammendrückbarkeit, die Kompressabilität der Körper ihre Grenzen hat, und auch aus dem weiteren Grunde, daß die größere Temperatur der Tiefe der zusammendrückenden Kraft entgegenarbeiten müßte.

Zu ähnlichen Betrachtungen ist neuerdings ein deutscher Vulkanologe, Dr. Alphons Stübel in Dresden, durch die mehrfach gemachten Beobachtungen geführt worden, daß Schollen festgewordener Lava auf flüssiger Lava zu schwimmen vermögen, wie etwa Eis dies auf dem Wasser tut, woraus geschlossen wird, daß die feste Lawa ein geringeres spezifisches Gewicht aufweist, als die flüssige, also bei ihrem Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand ein größeres Volumen angenommen hat[1]), „Wenn aber," so sagt der Genannte, „die Materie in flüssigem

[1]) Stübel, A., Die Vulkanberge von Ecuador, Berlin, 1897, u. a. a. O.

Zustand schwerer ist, als ihr Erstarrungsprodukt, so kann es uns auch nicht befremden, daß die mittlere Dichtigkeit des Erdkörpers, dessen Inneres diese Materie zu bergen scheint, die Dichte jener, an der Erdoberfläche uns zugänglichen, unzweifelhaft eruptiven Gesteine übersteigt. Befremdend würde es nur sein, wenn man gezwungen wäre, gerade das umgekehrte Verhältnis vorauszusetzen und die flüssige Materie als leichter, die erstarrte als schwerer anzunehmen. Das spezifische Gewicht mancher Basalte beträgt bis zu 3.3. Eine andre Frage ist dagegen die, ob der verbleibende Dichtigkeitsunterschied von etwa 2.2 bis 3 — abgesehen von den spezifisch leichteren Gesteinsarten andrer Entstehung, die an der Zusammensetzung der Erdoberfläche einen unbestimmbaren Anteil haben — lediglich auf Rechnung der mit dem Druck progressiv nach der Tiefe zunehmenden Dichte der glutflüssigen Materie gesetzt werden dürfte, oder, vielleicht mit größerer Berechtigung, in dem Vorwalten schwererer Bestandteile in der Mischung der Materie nach der Tiefe zu suchen wäre. Um dies zu entscheiden, fehlt es bis jetzt an jedem greifbaren Anhalt, selbst dafür, ob das Innere der Erde unter den gegebenen Verhältnissen als flüssig oder fest anzunehmen ist."

Stübels Schlußworte führen uns zu den Dingen zurück, über die uns der aus der ewigen Teufe heraufdringende Wärmestrahl aufklären soll, zu der Frage nach dem Aggregatzustande der Materie im Erdinnern. Mit der Behauptung, daß diese letztere den menschlichen Geist wohl von dem Zeitpunkte an beschäftigt haben muß, an dem er zu denken gelernt hat, wird man kaum zu weit gehen, wenn uns auch die direkten Beweise für diese Meinung naturgemäß fehlen. Jedenfalls aber hat die Beschaffenheit des Erdinnern schon zu denjenigen Problemen gehört, mit denen sich nicht eben die geringste Zahl der Denker unter den Kulturvölkern des Altertums befaßte. Der größte und der klarste Geist der alten Welt, Aristoteles von Stagira, befindet sich darunter, und Platons Lehre vom Zentralfeuer in der Erdtiefe,

vom Periphlegeton, ist von den Gelehrten bis in das Mittelalter hinein nachgebetet worden. Von Wissensdurst getrieben hat sich, so will es die Überlieferung, Empedokles der Agrigentiner in den Krater des Ätna gestürzt, nachdem er zuvor am Berge selbst lange Beobachtungen angestellt hatte, um das Wesen des unterirdischen Feuers zu erforschen. In die Abgründe des Planeten hat später die Kirche die Hölle verlegt, deren schreckenerfüllte und grauenhafte Räume den Sänger der Divina Comedia in seinen unsterblichen Versen geschildert hat. Aus den mit dem höllischen Brand in Verbindung stehenden Vulkanschlünden ertönte das fürchterliche Geschrei der im Fegefeuer gepeinigten armen Seelen. „Auch in der Gegenwart," so spricht der bekannte Münchener Geograph Sigmund Günther, „gibt es noch Leute, welche in Vulkanausbrüchen und Erderschütterungen infernale Winke erblicken zu sollen glauben."

Was hat man in vergangenen Jahrhunderten nicht alles zusammengeschrieben über den Zustand des Erdinnern! Wie viele geistreiche, aber auch wie viele phantastische und ungeheuerliche Gedanken haben da nicht im menschlichen Gehirn gespukt. So hat ein origineller Kopf und ein von seinen Zeitgenossen hochgeschätzter Arzt, Johann Baptist Helmont in Brüssel (1577 bis 1644) den kühnen Satz aufgestellt, das Innere unseres Planeten sei erfüllt von einem feinen, von einer unerschöpflichen Wassermenge ganz und gar durchdrungenen Sande. Noch andre haben das Erdinnere für einen Hohlraum gehalten, in dem sogar Tiere und Pflanzen lebten, und zwei kleine Planeten, Pluto und Proserpina, kreisten. Athanasius Kircher, der gelehrte Jesuitenpater aus der Zeit des dreißigjährigen Krieges und der Begründer des Museo Kircheriano in Rom, stellte sich ein im Erdmittelpunkte brennendes gewaltiges Feuer vor, einen mächtigen Behälter glutflüssigen Materials, ein großes Pyrophylacium, das durch Kanäle mit andren, kleineren und da und dort im Erdinnern verteilten Pyrophylacien in Verbindung stünde, und diese wiederum mit den einzelnen Vulkanschloten. Eine ähnliche

Lehre ist auch in den allerjüngsten Tagen wieder hervorgetreten, wenn auch auf ganz andern wissenschaftlichen Begründungen beruhend, als Kircher sie zu geben vermocht hat. Wir werden uns noch in eingehender Weise damit zu beschäftigen haben.

Gestützt auf die Kant-Laplacesche Theorie vom Ursprung unsres Sonnensystems, auf die Nebularhypothese, nehmen wir an, unsre Erde sei einmal ein glühender Gasball gewesen, der sich im Verlaufe der Zeiten allmählich verdichtet habe und in einer fortschreitenden Abkühlung von außen nach innen begriffen sei. Wenn wir uns also auf den Boden dieser Lehre stellen, so sind die aus ewiger Tiefe hervordringenden Wärmestrahlen die Reste der ursprünglichen Ballungswärme unsers Planeten. Und diese Ansicht, man darf das mit Recht sagen, ist wohl die am allgemeinsten verbreitete, wenn auch nicht die einzige Vorstellung von der Entstehungsweise der Erde, die von der Wissenschaft gezeitigt wurde. Noch andre Lehren sind vorhanden, von denen nur eine hier näher erwähnt werden soll, die vom bayerischen Physiker und Astronomen Gruithuisen aufgestellte, in neuerer Zeit vom Engländer Lockyer wieder aufgenommene Konglomerattheorie. Danach haben konzentrierte Meteoritenschwärme den Planeten gebildet, eine Möglichkeit, die auch von Nordenskjöld in Betracht gezogen worden ist. Meteoritische Massen hätten sich um einen Kern herum angehäuft und allmählich zu unsrer Erde geformt. Dies ist nicht so ungeheuerlich als es klingt. Die Annahme, daß die glorienscheinartige Umrandung des Sonnenkörpers im Momente der Totalität, die sogenannte Corona, aus Meteoritenhaufen bestehen dürfte, hat einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich. Das Hineinfallen gewaltiger Meteormassen in den damals noch in einem plastischen Zustand befindlichen Mondkörper ist auch einmal herangezogen worden, um die Entstehung der kraterförmigen Ringgebirge auf unserm Satelliten zu erklären. Und nicht nur das ist — beiläufig sei's bemerkt — behauptet worden! Man hat die Bildung der Mondkrater sogar auf die Einwirkung

irdischer Vulkane zurückführen wollen und nichts mehr und nichts weniger gesagt, als daß diese letzteren mächtige Auswurfsmassen bis auf den Mond geschleudert und ein regelrechtes Bombardement gegen dieses Gestirn eröffnet hätten! Selbst die großartige Phantasie eines Jules Verne reicht nicht an das hinan, was exzentrische Vertreter der Wissenschaft bisweilen ausgesprochen und zu beweisen versucht haben! Und wenn die Berufenen sich zu derartigen kühnen Ideen versteigen konnten, wer wollte es da den Unberufenen verargen, wenn sie noch viel Ungeheuerlicheres drucken ließen! „Denn so man das tut am grünen Holz, was will am dürren werden?“ steht Lukas 23,31 geschrieben.

Den absoluten Beweis für die Richtigkeit der Nebularhypothese zu erbringen, sowie die phänomenologischen Wissenschaften diejenigen der Erscheinung, wie Wundt die Physik, die Chemie und die Physiologie genannt hat, dies für ihre Lehrsätze zu tun vermögen, das kann die Kosmologie nicht. Denn die ersteren arbeiten mit dem und durch das Experiment — man bezeichnet sie darum auch als Experimentalwissenschaften —, und dieses ist eine Frage der Zeit, weil es nur auf Erscheinungen anwendbar ist, die aus einem Entwicklungszusammenhange vollständig losgelöst werden können. Langzeitige Erscheinungen, und zu diesen gehört in höchstem Maße die Entstehung unsres Sonnensystems, entziehen sich daher der experimentellen Behandlung. Und auch dann, wenn man versucht hat, große Naturerscheinungen im kleinen Raume zu unsrer unmittelbaren Beobachtung durch Experimente nachzubilden, wie beispielsweise Plateau dies mit der rotierenden Ölkugel getan hat, um die Grundgedanken der Kant-Laplaceschen Lehre dadurch zu illustrieren, kann es sich nur um indirekte Experimente im Sinne Wundts handeln. „Wer nicht,“ sagt Ratzel[1]), dem wir diese Betrachtungen entnommen haben, „an die Abplattung der Erde durch Rotation glaubt, wird durch den Plateauschen Ver-

[1]) Die Zeitforderung in den Entwicklungswissenschaften. In: Annalen der Naturphilosophie, I. Leipzig 1902.

such nicht überzeugt werden. Der Wert dieser Experimente hängt also nicht von ihnen selbst, sondern von dem Werte der Voraussetzung ab, die durch sie bewiesen werden soll."

Die Kant-Laplacesche Theorie ist eine Rastvorstellung, wie Ratzel solche Hypothesen bezeichnet hat, „ein Werkzeug beim Wahrheitsuchen, aber nicht die Wahrheit selbst." Lassen wir den Leipziger Gelehrten diesen Begriff mit seinen eigensten Worten definieren. „Mit derselben Notwendigkeit," so äußerte er sich, „mit der der müde Wanderer einen Platz sucht, wo er sich zur Ruhe niederläßt, auch auf die Gefahr hin, vom Froste getötet zu werden, strebt der Geist, der erdgeschichtliche Weiten überflogen hat, einem Abschluß zu. Er will nicht immer in eine Ferne blicken, wo kein Ende und kein Anfang ist. Man muß von einer gewissen Stelle ausgehen können und an einer andern Halt machen müssen." Und diesem Wunsch, diesem Bedürfnis des forschenden Geistes entspringen die Rastvorstellungen. Die große Mehrzahl der Erkenntnisse, welche die Wissenschaft verkündet, ist nur vorläufige, ist nicht objektive Wahrheit, sondern ein Werkzeug nur beim Suchen nach der Wahrheit!

Ebensowenig aber läßt sich die Konglomerattheorie strikte beweisen. Auch sie ist eine Rastvorstellung! Beide, sie und die Nebularhypothese, haben ein Für und ein Wider, man kann die eine annehmen und die andre verwerfen, ohne daß es je gelänge, gegnerische Anschauungen völlig zurückzuweisen, oder aber die Widersacher durch schlagende Argumente zu überzeugen. Ohne Rastvorstellungen geht es eben in einem solchen Falle nicht, und, wenn man zwischen mehreren davon die Auswahl treffen soll, wird sich's nur darum handeln können, diejenige auszusuchen, die das größte Maß von Wahrscheinlichkeit in sich birgt, eine solche, die dem Beschauer einen Ruhepunkt gewährt, von dem aus er innerhalb des abgeschlossenen Horizontes die möglichst weiteste Fernsicht genießt.

Diesen Anforderungen aber entspricht keine der vorhandenen Theorien über die Entstehung der Erde so gut wie die

Nebularhypothese. Sie ist diejenige, welche die Beziehungen unsres Planeten zu den übrigen Gestirnen unsres Sonnensystems einerseits und anderseits die vulkanischen Erscheinungen auf der Erde selbst in ihrer Gesamtheit am besten und am vollkommensten erklärt. „Der Grundgedanke," so hat's S. Günther ausgesprochen, „von welchem Kant und Laplace sich bei ihrer Aufstellung leiten ließen, ist nahezu durchaus als ein gesunder anerkannt worden und wird dies auch noch jetzt. Zu dieser Überzeugung müssen wir kommen, wenn wir unsre Erfahrungen darüber, wie sich die Lehre von der Weltentstehung seit anderthalb Jahrhunderten, unter den eifrigen Bemühungen hervorragender Forscher gestaltet hat, zusammenfassen"[1]).

Woran vermögen wir nun die Äußerungen der in den Tiefen der Erde ruhenden Wärme, die ihre Strahlen an die Erdoberfläche sendet, zu erkennen?

Die von der Allmutter Sonne ausgestrahlte Wärme dringt nur in eine sehr dünne Schicht der Erdrinde ein. Wie die Erfahrung uns gelehrt hat, treffen wir, wenn wir in die Tiefe steigen, schon sehr bald eine Zone, oder besser gesagt, eine Fläche, auf welcher sich die jahreszeitlichen Unterschiede nicht mehr bemerkbar machen und woselbst immerfort eine gleichmäßige Temperatur vorherrscht. Es ist dies die neutrale oder invariable Fläche. Je größer an der betreffenden Örtlichkeit unsrer Untersuchungen die jahreszeitlichen Gegensätze sich äußern, um so näher dem Erdmittelpunkt zu wird daselbst auch die neutrale Fläche liegen müssen. Diesem letzteren am nächsten wird sie an den Polen kommen, am Äquator hingegen nähert sie sich am meisten der Erdoberfläche. In unsren Breiten finden wir sie in mehr als 20 Meter Tiefe. Im 28 Meter tiefen Keller der Pariser Sternwarte ausgeführte Beobachtungen, die man seit länger als einem Jahrhundert dort angestellt hat — Cassini und Legentil haben dieselben anno 1783 begonnen — zeigen, daß dort eine

[1]) Handbuch der Geophysik, I. Stuttgart 1897.

andauernde Temperatur von 11.82° C vorhanden ist, die im Verlaufe des soeben erwähnten Zeitabschnitts keine größeren Schwankungen als nur ± 0.02° C aufweisen konnte.

Sobald wir von der neutralen Fläche aus tiefer in das Erdinnere eindringen, nehmen wir eine Temperaturzunahme wahr. Auf die Ausstrahlung der Sonne kann dieselbe nicht mehr zurückgeführt werden, sondern sie muß vielmehr aus der Tiefe heraufkommen, ein Erzeugnis sein der daselbst wirkenden Eigenwärme des Planeten. Diese Tatsache ist nicht neu. Athanasius Kircher, der weiter oben genannte Priester der Gesellschaft Jesu. kannte sie schon aus Berichten von Freiberger Bergleuten. Seither haben sich darüber Beobachtungen an Beobachtungen gereiht, in Bergwerksschächten, in Bohrlöchern, bei Tunnelbauten, allerdings nicht alle von gleicher Zuverlässigkeit. Aber auch hier sind, wie bei der Ermittelung der Erddichte, immer mehr verfeinerte und genauere Untersuchungsmethoden ersonnen und angewandt worden, so daß man, besonders während der jüngst verflossenen Jahrzehnte, immer präzisere Resultate erzielen konnte. Immerhin genügen dieselben aber noch lange nicht, um die Aufstellung eines Satzes von allgemeinerer und auf die gesamte Erdoberfläche anwendbarer Gültigkeit zu erlauben. Die geothermische Tiefenstufe, das ist die Anzahl von Meter, die man von der neutralen Fläche aus tiefer gehen muß, um eine Wärmezunahme von 1° C zu erhalten, ist nämlich nicht nur nicht allenthalben gleich groß, sondern sie macht auch bisweilen an ein und derselben Stelle der Erdoberfläche ganz sonderbare Sprünge. Diesen letzteren Punkt mag ein Beispiel erläutern: Im Albertschacht des Silberbergwerks von Pzibram in Böhmen hat man, ausgehend von der in 74.5 Meter Tiefe belegenen ersten Beobachtungsstelle mit 9.44° C Wärme nach dem Erdmittelpunkte hin folgende Werte für die geothermischen Tiefenstufen gewonnen; 34, 97, 53, 172, 74, 52.8, 68.7, 57.7, 55.9, 135.5, 82.7 Meter. Ein daraus berechneter Mittelwert ergibt 65 Meter. Dagegen betrugen die Mittelwerte der geothermischen

Tiefenstufen in einigen deutschen Bohrlöchern der Gegenwart wie folgt: Sperenberg bei Berlin 33.7 Meter, Schladebach bei Halle 35.7 Meter, Paruschowitz bei Rybnik in Oberschlesien 31,82 Meter, Czuchow ebendort, wie bereits erwähnt, zurzeit das tiefste Bohrloch der Erde, 31,8 Meter. Einige Daten über die Größe der geothermischen Tiefenstufen in älteren Bohrlöchern (resp. bei älteren Tiefbohrungen auf artesisches Wasser) mögen hier noch angeführt werden. Bohrloch von Grenelle-Paris (artesischer Brunnen) 31.38 Meter, Rüdersdorf bei Berlin 30 Meter, Monsdorff im Luxemburgischen 31.04, und Lieth bei Elmshorn, das einige Zeit hindurch die Ehre, das tiefste Bohrlochder Erde zu sein, ebenfalls genoß, 35.7 Meter. Größere Anomalien hat die geothermische Tiefenstufe im vorhin genannten Schacht von Pzibram mit 65 Meter gezeigt, ein Beispiel für einen abnorm hohen Wert, während sehr viel geringere Werte ermittelt wurden im Bohrloch von Neuffen in Württemberg, das von 1832 bis 1839 eingetrieben wurde, und zwar hier 9.9 Meter nach den gleichzeitigen Beobachtungen des Grafen Mandelsloh, und 10.46 Meter nach den Neuberechnungen Brancas[1]) vor 15 Jahren, dann im Bohrloch von Sulz am Neckar (1888—1890), 24.08 Meter, in demjenigen von Monte Massi bei Grosseto in der Toskana, 13 Meter, in der Bohrung von Macholles bei Riom in der Limagne (französisches Zentralplateau), in der Nachbarschaft heißer Quellen ausgeführt und 1160 Meter tief, 14.16 Meter, und in derjenigen von South Balgray bei Glasgow, 22.49 Meter.

Für die sehr hohe geothermische Tiefenstufe in Pzibram hat man eine genügende Erklärung zurzeit noch nicht, wenn auch mehrfach festgestellt werden konnte, daß diese Werte in Bergwerksschächten meist sehr große sind. Die auffallend geringen Zahlen im Bohrloch von Neuffen finden nach Branca eine sehr plausible Erklärung im Umstande, daß hier in der

[1]) Schwabens 125 Vulkan-Embryonen und deren tufferfüllte Ausbruchsröhren; das größte Maargebiet der Erde. In: Jahreshefte für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 50. Jahrg., Stuttgart 1894, und 51. Jahrg., Stuttgart 1895.

Tiefe ein großer, mindestens 20 Quadratmeilen umfassender vulkanischer Herd ruht, dessen Glutmassen in jungtertiärer Zeit bis nahe an die Erdoberfläche gerückt und noch nicht völlig erkaltet sind. Wir werden auf diese Verhältnisse später noch eingehender zurückkommen müssen. Die kleine geothermische Tiefenstufe im Bohrloch von Macholles wird durch die in der Nähe befindlichen heißen Quellen leicht verständlich.

Einen verhältnismäßig großen Einfluß auf die Zunahme der Temperatur im Erdinnern hat die Beschaffenheit der Gesteine im Bohrloch. Die Temperatur wächst beispielsweise rascher in Schiefern als im Granit. Geringer dagegen wird dieselbe in einem Steinsalzlager sein, weil dieses Mineral ein sehr hohes Wärmeleitungsvermögen besitzt, äußerst diatherman ist, höher in Steinkohlenschichten. In diesen kann noch ein weiterer, die Temperatur erhöhender Umstand hinzutreten, nämlich infolge der großen Zersetzbarkeit der Eisenkiese, wobei Wärme entwickelt wird. Auch in den im Bohrloch von Neuffen durchfahrenen Schichten, in denen ein größerer Reichtum von Eisenkiesen vorhanden ist, dürfte nach den klaren Darstellungen Brancas eine Steigerung der Temperatur stattgefunden haben[1]).

Will man aus allen bisher gemachten einigermaßen zuverlässigen Erfahrungen über die geothermischen Tiefenstufen einen Mittelwert berechnen, so würde dieser etwa 31—35 Meter betragen. Aber nach Branca ist der Satz: „Die Wärmezunahme hat im Mittel auf Erden den und den Betrag", ganz unzulässig. Denn nur dann, wenn die Erdrinde überall die gleiche Dicke hätte, mit andern Worten, wenn der Herd der Schmelzmassen überall gleich weit von der Erdoberfläche entfernt läge, würde die Wärmezunahme nach der Tiefe hin überall eine bestimmte, eine gleiche sein können, abgesehen von den Unterschieden,

[1]) Eine Reihe äußerst interessanter Ausführungen über die Beeinflussung der geothermischen Tiefenstufe durch Berge, Seen, vulkanische Erscheinungen, chemische Prozesse und Wärmeleitfähigkeit der Gesteine verdanken wir in neuester Zeit Professor Dr. J. Königsberger in Freiburg i. B. (In: Compte rendu de la X ème session du congrès géologique international, Mexico, 1906, Mexico, 1907.

die durch den Einfluß chemischer Prozesse, des Wassers usf. hervorgerufen werden können. Ob der Wert der geothermischen Tiefenstufe nach dem Erdmittelpunkte hin etwas zunimmt, wie Arago das aus den Ergebnissen der Bohrung von Grenelle schließen zu dürfen geglaubt hat, das muß vorderhand auch noch dahingestellt bleiben.

Neben diesen untrüglichen Zeugnissen für eine nach der Tiefe zu steigende Wärme, wie sie bis zu 2239 Meter dargetan ist, gibt es aber noch andere Beweise, aus denen man folgern darf, daß die Temperatur in den dem Erdmittelpunkt noch näher gelegenen Regionen eine noch höhere sein muß. Das sind die glutflüssigen Massen, welche sich aus den Feuerschlünden der Vulkane über die Erdoberfläche ergießen, die Laven, die mit einer Hitze von 1000° C und mehr heraufdringen, das sind auch die allenthalben auf dem Geoid entspringenden heißen Quellen, die Thermen im engeren Sinne. Das Wasser des großen Geysirs auf Island weist vor einem Ausbruch 127° C., nachher 122° C auf, die Thermen von Chichi-Mequilla in Mexiko zeigen 96.4° C, diejenigen von Abano in den Enganäen 84.5° C, und die Schwertbadquelle von Burtscheid-Aachen, eine der heißesten Deutschlands, besitzt eine Temperatur von 74.6° C, 73.8° C der berühmte Karlsbader Sprudel. Dabei ist es noch nicht einmal gewiß, daß die Wärme der Thermen an ihrem Quellorte auch wirklich der ursprünglichen Temperatur ihrer Wässer in den Tiefen der Erde entspricht. Durch chemische Vorgänge aller Art und durch das Eindringen von kälteren Wassermengen in die natürliche, dem Aufsteigen des Thermalwassers dienende Gesteinskluft, in die Thermalspalte, kann diese Temperatur schon um ein bedeutendes herabgemindert worden sein.

Wie dem auch sei, die allgemeine Verbreitung der Vulkane auf der Erde, und ferner das an so vielen Stellen, im Norden, Süden, Osten und Westen des Planeten aus seinem Innern hervorströmende heiße Wasser geben uns einen deutlichen Fingerzeig dafür, daß wohl allenthalben in der Erdtiefe ein be-

deutender Wärmeschatz aufgespeichert sein muß. Ob derselbe aber in den Eingeweiden der Erde gleichmäßig verteilt ist, ob er an einigen Stellen nicht größere Intensität zeigt, als an andern, oder anders ausgedrückt, ob die Isogeothermen, die Flächen gleicher Temperatur im Erdinnern, regelmäßig angeordnet sind und einander etwa parallel verlaufen, das ist eine andere, vorhin schon kurz von uns berührte Frage (Fig. 1). Es ist schon die Vermutung ausgesprochen worden, bereits in 1500 bis 2000 Metern sei dies der Fall, auch müsse der gegenseitige Abstand der Isogeothermen durch das Maß der Wärmeleitungsfähigkeit der in der betreffenden Tiefe vorhandenen Gesteine bedingt werden. In der Nähe der Erdoberfläche erleiden die Isogeothermen verschiedene Abweichungen, verursacht durch die Beschaffenheit des Bodenreliefs, dem sie im allgemeinen folgen, und durch noch weitere Umstände. Die Entfernung gleichwertiger Isogeothermen vom Erdmittelpunkte wird in den Bergmassen hoher Gebirgszüge eine größere sein als unter den ozeanischen Depressionen.

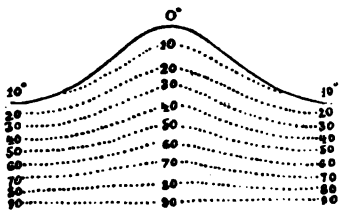


Fig. 1. Verlauf der Isogeothermen von der Erdoberfläche nach der Tiefe zu. (Nach Supan.)

Gestützt auf genaue Berechnungen haben schon verschiedene Forscher behauptet, die Abkühlung der Erde müßte infolge ihrer Wärmeausstrahlung in den Weltenraum bereits viel weiter vorgeschritten sein, als dies wirklich der Fall ist. Und so hat auch in neuerer Zeit J. Königsberger[1]) aus solchen Tatsachen gefolgert, daß die Abkühlungshypothese zur Erklärung dieser Dinge nicht genüge, daß vielmehr zur Erklärung der Erdwärme ganz andere Prozesse, so radioaktive und chemische heran-

[1]) Normale und anormale Werte der geothermischen Tiefenstufe. In: Centralblatt für Mineralogie, usf. 1907. und: Über den Temperaturgradienten der Erde bei Annahme radioaktiver und chemischer Prozesse. In: Phys. Zeitschrift, VII, 1906.

gezogen werden müßten. Radium hat universelle Verbreitung; man kann dieses Element im Sonnenspektrum nachweisen, und die atmosphärische Luft, die Niederschläge, sehr viele Quellen und die meisten Gesteine verhalten sich radioaktiv. Nach den Untersuchungen, die von dem Borne[1]) angestellt hat, ist nicht das Erdinnere der Träger der Aktivität, sondern der Steinmantel der Erde, vor allem die Eruptivgesteine. F. von Wolff in Danzig[2]) ist nun der Frage nähergetreten, ob bei dieser universellen Verbreitung des Radiums und seiner starken Wärmeentwicklung nicht mindestens der gesamte Wärmeverlust, den die Erde durch Abgabe in den Weltenraum erleidet, durch Radiumwärme ersetzt wird, daß also ein durch dieses letztere hergestelltes stationäres Wärmegleichgewicht besteht. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen über diese Dinge sind folgende:

Die in der Bodenluft, den Quellen, Thermen, Petroleumquellen und Gesteinen beobachtete Radiummenge[3]) ist größer, als zur Herstellung des thermischen Gleichgewichtes erforderlich ist. Da die Erde nicht allmählich wärmer wird, kann die Radioaktivität deshalb nicht gleichmäßig über die ganze Erdmasse verteilt, sondern muß auf eine Oberflächenschale beschränkt sein, während der Erdkern frei davon ist. Die Mächtigkeit der aktiven Schale ist von dem mittleren Radiumgehalt der Gesteine abhängig und ist zwischen 200 und 300 km einzusetzen.

Ein durch Radiumwärme erzeugtes stationäres Wärmegleichgewicht besteht sicherlich nicht, dagegen läßt sich deutlich erkennen, daß durch die Wärmeerzeugung des in der Oberflächenschale zerfallenden Radiums und anderer radioaktiver Stoffe der Abkühlungsprozeß der Erde außerordentlich stark aufge-

---

[1]) Über die Abhängigkeit der Radioaktivität der Bodenluft von geologischen Faktoren. In: Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik, II, 1905, Heft 1.

[2]) Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. In: Zeitschrift der Deutschen Geolog. Gesellschaft, 60, 1908, Heft 4.

[3]) Der Radiumgehalt der Mineralquellen ist bisweilen ein verhältnismäßig sehr hoher, so besonders auch bei gewissen Soolen (Soden-Werra, Soden a. Taunus, Kreuznach, Nauheim, usf.)

halten wird. Der jetzige Wärmeschatz unsres Planeten würde also in zwei Wärmequellen bestehen, einmal in dem ursprünglichen Vorrat an Eigenwärme, dann aber in der Wärme, welche durch radioaktive Vorgänge nächst der Oberfläche erzeugt wird. Chemische Prozesse können als Wärmequellen wohl lokal von Bedeutung werden, man wird ihnen aber einen allgemeinen entscheidenden Einfluß auf die Wärmeverhältnisse kaum beimessen dürfen. Dem thermischen Gleichgewicht strebt der Abkühlungsprozeß zu, ohne es bisher erreicht zu haben. Wie groß der Anteil ist, der im Wärmehaushalt der Erde auf Rechnung radioaktiver Prozesse zu setzen ist, ist unbekannt; sie dürften indessen wohl die Hauptmasse der ausgegebenen Wärme liefern[1]).

Versuchen wir nun, unter der Zugrundlegung der soeben geschilderten Verhältnisse der Frage näher zu treten, in welcher Tiefe der Erde etwa geschmolzene Materie vorhanden sein und welcher Zustand wohl in den Abgründen des Planeten herrschen müßte.

Toula[2]) meint, daß erst in 100 oder 200 km Tiefe oder auch mehr, überall im Erdinnern geschmolzene Massen anzutreffen sein dürften. Die Temperatur der Laven in den Tiefen der Ausbruchsschlote nimmt der Genannte zu etwa 2000° C an, mit der Bemerkung, daß diese Zahl möglicherweise noch etwas zu gering gegriffen sein dürfte, zumal der vermehrte Druck den Schmelzpunkt wohl wesentlich erhöhen müßte. Eine in arithmetischer Progression fortschreitende gleichmäßige Wärmezunahme nach dem Erdmittelpunkt hin ist in großen Tiefen vielleicht doch nicht mehr anzunehmen, und die geothermischen Tiefenstufen werden wohl allmählich größer werden, je weiter wir von einer gewissen Tiefe aus im Geiste in das Erdinnere eindringen. Von der Tiefe von 100—200 km an

[1]) Siehe darüber auch: Strutt, R. J. On the Distribution of Radium in the Earth's Crust, ad on the Earth's Internal Heat. In: Proceedings of the Royal Society of London, 77, 1906.

[2]) Verschiedene Ansichten über das Innere der Erde. In: Allgemeine bergmännische Zeitschrift 1899, No. 1, Wien, 1899.

greift eine noch allmählichere Temperaturzunahme wahrscheinlich Platz. Auf diese Weise würde auch die Annahme von so gewaltigen Hitzegraden von 200 000 — 250 000 ° C, wie dies früher geschehen, nicht mehr notwendig sein. Hat doch schon, worauf Toula hinweist, Naumann gesagt, daß, wenn das Erdinnere wirklich flüssig ist, die Temperatur jenseits der Grenze des flüssigen Kerns auch nicht viel höher zu steigen brauchte, während sie innerhalb derselben ziemlich konstant sein könne, weil dort notwendig Strömungen stattfinden müssen, durch welche sich die etwaigen Differenzen mehr und mehr ausgleichen.

War, wie wir annehmen, unsre Erde einmal ein glühender Gasball, dessen Kern mit der Zeit in flüssigen Zustand überging und sich später mit einer festen Erstarrungskruste umkleidete, so muß infolge von stetiger Wärmeabgabe an den kalten Weltraum die Dicke dieses erstarrten Mantels immer zugenommen haben und tut das noch heute. Aber so wohlbegründet diese Annahme auch erscheint, so schwierig ist es, sich ein genaues Bild von der Beschaffenheit des Erdinnern zu machen; und so gehen denn auch die Vorstellungen über diesen Punkt noch weit auseinander. Diese Ungewißheit betrifft einmal schon die Dicke der Rinde. Humboldt und E. de Beaumont haben sie auf 40—50 km geschätzt, Pfaff auf 70—90, Pilar veranschlagte sie auf $^1/_{50}$—$^1/_{40}$ des Erdradius, d. h. etwa 150 km., mindestens aber auf 120 km., Fisher nur auf 25 englische Meilen oder etwa 40 km., neuerdings Arrhenius wieder auf 40—60, Dölter auf wenige hundert Kilometer[1]).

Sigmund Günther ist bei seinen Betrachtungen über den möglichen Zustand des Erdinnern zu Anschauungen gekommen, welche er die Kontinuitätshypothese genannt hat[2]). „Im Innern des Erdballs," so sagt er, „sind alle überhaupt denkbaren Aggregatzustände zwischen nahezu totaler Starrheit und absoluter Dissoziation vorhanden, und zwar gibt es keine wie immer

[1]) Kayser, Lehrbuch der Geologie, I. 3. Auflage, Stuttgart 1909.

[2]) Handbuch der Geophysik, I, Stuttgart 1897.

beschaffene Trennungsflächen, sondern der Übergang ist ein absolut lückenloser, so daß zwei zunächst benachbarte, unendlich dünne Kugelschalen auch hinsichtlich ihrer Molekularbeschaffenheit einen wenn auch noch so geringen Unterschied aufweisen müßten." Wir hätten dann 7 verschiedene Raumzonen im Erdball, die aber, um das nochmals besonders zu betonen, nicht scharf oder besser gesagt gar nicht gegeneinander abgegrenzt sind, sondern vielmehr alle allmählich ineinander übergehen. Von außen nach innen zu fortschreitend treffen wir zuerst die von Gesteinen und Mineralien gebildete feste Erdkruste, als fast völlig starr anzusehen, dennoch aber, gegenüber äußeren Einwirkungen, wenn auch nur in sehr beschränkter Weise plastisch reagierend. In größerer Tiefe zeigt sich immer mehr eine gewisse Verschiebbarkeit der Teilchen, die hinüberführt in die Zone der latenten Plastizität. Hier ist das Gesteinsmaterial dem Anscheine nach fest, aber bereits mit einem mehr und mehr gleichmäßig verteilten Vermögen der Druckfortpflanzung ausgestattet, wird aber bei vermindertem Drucke ganz fest. Hierauf gelangen wir in die Zone der Zähflüssigkeit, des Silikatbreies von zähflüssiger Beschaffenheit, und von da durch das Überhandnehmen von Schichten leichtflüssiger Massen, deren Beweglichkeitsgrad nach der Tiefe hin zunimmt und sich immer mehr demjenigen der elastischen Flüssigkeiten nähert, in diejenige der gewöhnlichen Flüssigkeit. Die Zone der gewöhnlichen Gase löst nun die soeben erwähnte ab, und die verschiedensten Körper finden sich hier in gasförmigem Zustande, da die Temperaturerhöhung die Druckerhöhung im Verhältnis überwiegt. Bei zunehmendem Druck würde eine Rückbildung in den tropfbarflüssigen Zustand möglich sein, was aber in der sechsten Zone, in derjenigen der überkritischen Gase nicht mehr der Fall sein könnte. Da die kritischen Temperaturen der einzelnen Substanzen überaus verschieden sind, so dürfte in dieser Zone manches Gas längst überkritisch geworden sein,

während ein anderes bei gleicher Entfernung vom Erdmittelpunkte diesen Zustand noch nicht erreichen konnte. Jedes Gas besitzt daher immer noch sein Sonderdasein, seine Individualität. So ist in dem Gasgemenge Sauerstoff ebenso wie Stickstoff als solcher vorhanden. Setzt sich aber die radiale Wärmezunahme noch weiter fort, so wird auch diese Selbständigkeit der Gase unmöglich, denn eine Hitze, wie sie in den zentralen Teilen des Planeten obwaltet, muß den Zerfall der Molekel zur notwendigen Folge haben. „Es besteht daher," sagt Günther, „wenn unsere Hypothese das Richtige trifft, das Erdinnere im engeren Sinne aus einem einatomigen Gase." Das ist die letzte und innerste Zone.

Nach Pencks[1]) Vorstellung ist der Erdball eine Gaskugel, die zunächst von einer flüssigen Magmaschicht und dann von einer festen Kruste umgeben ist; beide Hüllen setzen sich aber weder scharf voneinander, noch vom Kerne ab. So ruht nach dem Genannten die starre Erdkruste gleichsam auf einem weichen Polster latent-plastischen und darunter flüssigen Materials und befindet sich im Ruhezustand, in einer Art hydrostatischen Gleichgewichts; die hohen kontinentalen Teile sind die leichteren, die ozeanischen die schwereren, wie es auch den tatsächlichen Verhältnissen entspricht. Man muß sich die Erdkruste nämlich nicht als ein zusammenhängendes und ununterbrochenes Ganzes denken, denn abgesehen davon, daß sie nicht aus einem einheitlichen Stoffe besteht, sondern von den verschiedenartigsten zusammengesetzt wird, ist dieselbe in viele, größere uud kleinere Schollen zerborsten, die gegeneinander in Bewegung waren oder noch sind und dabei gebogen oder sogar zusammengeschoben wurden. Diese Verhältnisse beruhen auf der Tendenz der Erdkruste, sich im Verlaufe der fortschreitenden Erstarrung des Planeten dem unter ihr befindlichen infolge der zunehmenden Erkaltung stets mehr und mehr schwindenden Glutkern anzuschmiegen und anzupassen.

---

[1]) Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart, 1894.

In dem von dem Ozean eingenommenen Teil der Erdoberfläche muß das Wasser abkühlend auf seine Unterlage wirken wie das Wasser eines Kühlapparates, und das hat zur Folge, daß der Wärmeverlust des Erdinnern unter den Meeresdepressionen ein größerer sein wird, als unter den Festländern. Mit andern Worten: die Kernhülle ist unter den Ozeanen durchschnittlich stärker abgekühlt und kontrahiert anzunehmen, als wie unter der Landoberfläche. Daraus resultiert nun wieder, was wir schon weiter oben betonten, die größere Dichte der unter den Ozeanen belegenen Teile der Erdkruste gegenüber der geringeren bei den von den Kontinenten bebeckten. „Diese Unterschiede müssen bei anhaltender Abkühlung sich und jene Unebenheiten, welche vorhanden waren, als sich die Wasser auf der Erdoberfläche zu sammeln begannen, im Laufe der Zeiten nicht bloß erhalten, sondern auch steigern. Die Permanenz der großen ozeanischen und kontinentalen Räume erscheint sohin als Folge der ungleichen Abkühlung des Erdballs." Diese sind die stabilen Gebiete der Erdkruste, im Gegensatz zu denjenigen, welche durch Zusammenstauen der festen Erdhülle, durch Faltung und Überschiebung der Schichten, durch die vulkanische Tätigkeit im weiteren und im engeren Sinne gegeneinander beweglich sind, den labilen Gebieten.

Nach Alphons Stübel[1]) hat sich um den glutflüssigen Erdball im Verlaufe der Äonen ein System von Gesteinsbänken gebildet, welches den Planeten rings umschalt, und zu jenen Zeiten, wo die planetare Erstarrungskruste noch eine geringe Dicke besaß, zu deren Festigung wesentlich beigetragen haben muß, die Panzerdecke. Ihre Bildung denkt sich der genannte Forscher folgendermaßen: Als die Entstehung der planetaren Erstarrungskruste noch in ihren ersten Anfängen begriffen war, wurde ihre dünne Rinde an unzähligen Stellen von den Magmamassen durchbrochen, deren Abführung infolge einer Volumen-

[1]) Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kräfte in der Gegenwart. Leipzig 1901.

zunahme notwendig ist. Denn mit dem Übergang der Materie aus dem glutflüssigen in den festen Zustand wird zwar eine Volumenverminderung hervorgerufen, aber es darf auch mit größter Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß im Verlaufe des Erkaltungsprozesses glutflüssigen Magmas auch eine Phase der molekularen Volumenvergrößerung eintritt. Damit kann eine ungeheure, sich stetig steigernde Kraftäußerung verbunden sein, und das ist grade die Phase, durch welche das zeitweise Hervorbrechen glutflüssiger Materie bewirkt wird. Die solcherweise ausgestoßenen Magmamassen überlagern die Erstarrungskruste, und die Bildung der Panzerdecke beginnt.

Inzwischen nimmt die von außen nach innen vor sich gehende Erstarrung des Erdkörpers immer mehr zu, der glutflüssige Herd ist infolgedessen in größere Tiefen hinabgedrückt und der Widerstand, welchen das hervorbrechende Magma überwinden muß, ist gewachsen, und um so größer dieser letztere wird, um so geringer wird auch die Zahl der Ausbruchstellen.

In einem weiteren, noch mehr fortgeschrittenen Erstarrungsstadium halten sich die eruptive Kraft des Magmas und der Widerstand etwa das Gleichgewicht, und in dieser Periode des Erkaltungsprozesses müssen notwendig die gewaltigsten und ihrer Masse nach größten Ergüsse glutflüssigen Magmas eintreten. Dies ist das Stadium der Katastrophe, und die Bildung der Panzerdecke findet damit ihren Abschluß.

Bei noch zunehmender Erstarrung endlich wird der Rest des glutflüssigen Erdinnern in so große Tiefen gebannt, daß Ausstoßungen glutflüssiger Massen bis zur Erdoberfläche nicht mehr eintreten können, doch ist die Möglichkeit, daß im Jnnern des Erdkörpers noch sehr gewaltige Reaktionen vor sich gehen, nicht ausgeschlossen (Fig. 2 a—c).

Die aus der geringsten Tiefe des Erdinnern hervorgequollenen Ergußmassen bilden demnach gegenwärtig in der Panzerdecke die zu unterst derselben abgelagerten Gesteinsbänke, und diejenigen, welche die obersten Schichten aufbauen, haben

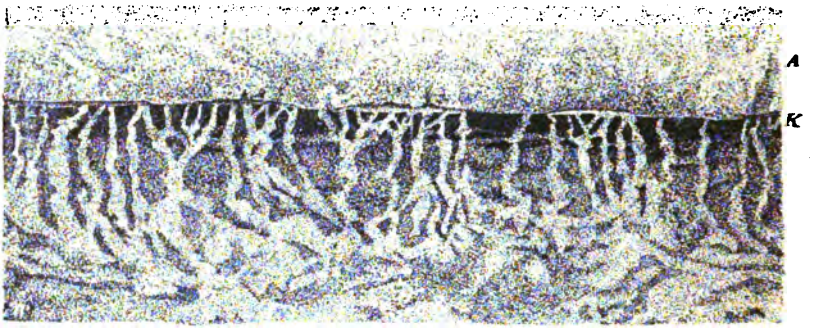


Fig. 2a.

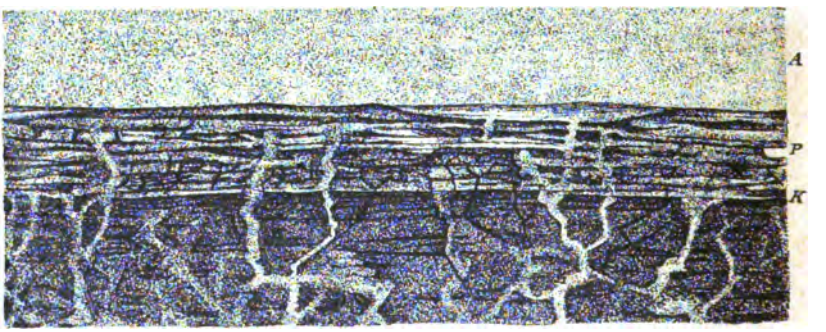


Fig. 2b.

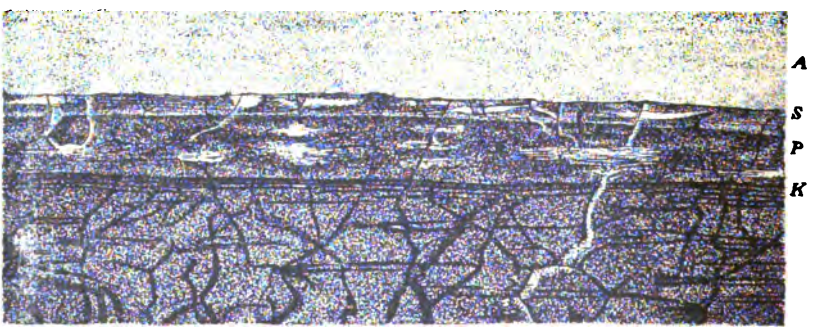


Fig. 2c.

Fig. 2a—c. Die Erstarrungskruste der Erde in verschiedenen Phasen, nach A. Stübel (und Weinschenk).

Fig. 2a. Die Panzerdecke im Anfang ihrer Entwicklung. Fig. 2b. Die Panzerdecke 40—50 Kilometer dick, Stadium der Katastrophe. Fig. 2c. Gegenwärtiger Zustand der Panzerdecke.

A. Dunsthülle. *K*. Erste Erstarrungskruste *P*. Panzerdecke. *S*. Vulkankegel von in der Panzerdecke befindlichen peripherischen Herden gespeist.

ihren Ursprung in der größten Tiefe des Erdinnern genommen, bis zu welcher der Erstarrungsprozeß vorgeschritten war, als sie abgelagert wurden.

„Die dicke Panzerdecke", sagt Stübel weiter, „läßt sich nur relativ abschätzen, nicht in Zahlen ausdrücken; sie steht in einem bestimmten Verhältnis zu der Tiefe, bis zu welcher die Erstarrung des Erdkörpers als vorgeschritten gedacht wird, und zu der Größe der Ausdehnungsfähigkeit, die wir dem Magma beimessen.

Für die richtige Beurteilung der Tiefe, bis zu welcher die Erstarrung des Erdkörpers vorgeschritten sein kann, ist an erster Stelle das Intensitätsverhältnis zwischen den Äußerungen der vulkanischen Kräfte der ältesten Vergangenheit und denen der Gegenwart maßgebend. Dieses Verhältnis festzustellen ist mehr die Aufgabe des Geologen, als die des Physikers und Astronomen, wenn dabei auch die Ansichten der letzteren nicht ungehört bleiben dürfen."

Der Erdkörper ist seinem Volumen nach bereits zum größeren Teil der Erstarrung anheimgefallen, das ist eine Annahme, zu welcher der Geologe auf Grund seiner geogenetischen Erwägungen kommen muß, denn die vulkanischen Erscheinungen der Gegenwart sind nur noch schwache Nachklänge derjenigen, die sich in den vergangenen Epochen der Erdgeschichte auf unsrem Planeten abgespielt haben (Fig. 3 a—d).

Nun besitzen wir noch ein weiteres Mittel, um die Tiefe abzuschätzen, bis zu welcher die Erstarrung der Erde wohl vorgedrungen ist. Das sind die metamorphischen und die sedimentären Gesteinsschichten, die nur aus dem Material zusammengesetzt sein können, das den Erstarrungsprodukten der Erdoberfläche, also der Panzerdecke entstammt. „Würden wir aber die Mächtigkeit dieser jüngeren Ablagerungen, zu denen höchstwahrscheinlich manche Gesteinsarten zählen, die bis jetzt noch vielfach als Eruptivgesteine betrachtet werden, ohne es zu sein,

auch nur auf 15 bis 20 km veranschlagen, so stellt dieses Schichtensystem in seiner ganzen vertikalen Ausdehnung doch nur erst einen Bruchteil von der von uns vorausgesetzten Mächtigkeit der Panzerdecke dar. Wenn aber ein Schichtensystem von 15 bis 20 km Mächtigkeit gewissermaßen nur die Rolle einer

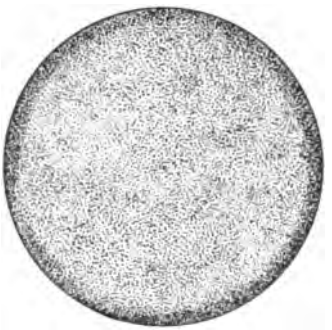


Fig. 3a.

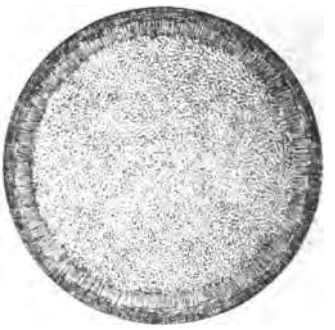


Fig. 3b.

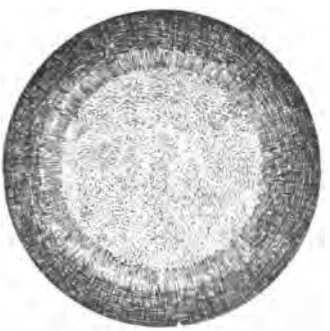


Fig. 3c.

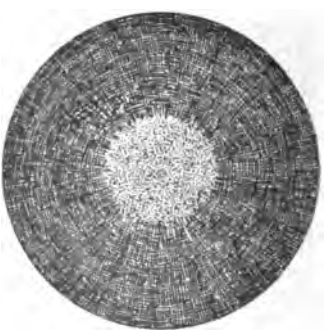


Fig. 3d.

Fig. 3a—d. Der Erdkörper in vier verschiedenen Stadien seiner Erstarrung gedacht. Nach A. Stübel.

Fig. 3a. Dicke der Erstarrungskruste = 100 Kilometer. Fig. 3b. 1000 Kilometer. Fig. 3c. 2000 Kilometer. Fig. 3d. 4000 Kilometer. (Nach A. Stübel.)

Verwitterungsrinde des eruptiven Untergrundes spielt, so können wir uns leicht vergegenwärtigen, welche unermeßlichen Zeiträume vergangen sein müssen, um die lange Reihe der mechanischen und chemischen Aufbereitungsprozesse ablaufen zu lassen, deren vielleicht ein jeder einzelne die Dauer von Jahrmillionen für

sich in Anspruch nahm, und durch welche Prozesse das vulkanische Material erst bis in das der Sedimentformationen übergeführt wurde; welche Zeiträume müssen aber bereits verstrichen gewesen sein, bevor überhaupt äußere Einflüsse diese Umwandlungsvorgänge einleiten konnten!

Aus diesen Zeiträumen läßt sich also wiederum mit großer Sicherheit auf die ungeheure Tiefe schließen, bis zu welcher die Erstarrung des Erdkörpers notwendig vorgeschritten sein muß. Nur eine Unterschätzung dieser Zeitwerte, die dieser Maßstab dem rechnenden Geologen an die Hand gibt, in Verbindung mit einer gleichzeitigen Überschätzung der vulkanischen Erscheinungen der Gegenwart in ihrer Bedeutung zur ursprünglichen Feuerflüssigkeit des Erdkörpers vermag zu der gewiß nicht stichhaltigen Annahme zu verleiten, daß die Dicke der Erstarrungskruste der Erde eine relativ kleine Zahl von Kilometern, deren 100 oder gar nur 50 betragen könne, welche Ansicht befremdlicherweise selbst von einigen Geologen vertreten worden ist.

Die Dauer der Zeiträume für die petrographische Entwicklung und morphologische Ausgestaltung der Erdoberfläche zu hoch zu veranschlagen, kommt der menschliche Geist nicht leicht in Gefahr, nur in die, sie zu kurz zu bemessen. Dem größten Irrtum aber würden wir uns hingeben, wenn wir annehmen wollten, daß die Gesteinsbänke der archäischen Sedimentformationen der ursprünglichen Erstarrungskruste unmittelbar aufgelagert worden seien. Zwischen beide Zeiträume schaltet sich unzweifelhaft eine Epoche ein, deren Dauer aller Wahrscheinlichkeit nach so groß gewesen ist, daß im Vergleich mit ihr der Zeitraum, der mit dem ersten Erscheinen des organischen Lebens auf der Erde bis zur Gegenwart vergangen ist, als verschwindend klein betrachtet werden darf. Denn diese Epoche umfaßt erstens den eigentlichen Erkaltungsprozeß des Erdkörpers mit allen seinen Eruptionserscheinungen, also auch die Bildung der Panzerdecke, und zweitens die Summe der Vorgänge, durch

welche die Umbildung eines Teiles der Eruptionsmassen in metamorphische Gesteine bewirkt worden ist[1]).“

Man hat bisher angenommen, daß diejenigen Gesteinsmassen, in denen unsre Beobachtungen und Ermittlungen bezüglich der geothermischen Tiefenstufen angestellt worden sind, entweder zur ursprünglichen Erstarrungskruste selbst gehörten oder der letzteren direkt auflagerten. Das ist nun aber, wenn wir uns auf den Boden der Lehre Stübels von der Panzerdecke stellen, irrig. Erkennen wir diese als richtig an, so müssen wir folgern, daß die in dem uns zugänglichen Teil der Erdrinde vorhandene und nach der Tiefe zu anwachsende Wärme nicht von der planetaren Erstarrungskruste selbst ausgestrahlt werden kann, sondern nur von der Panzerdecke und den von ihr umschlossenen peripherischen Herden, auf welche wir nachher noch eingehender zurückkommen werden. Wir rufen uns zum Verständnis des hier Gesagten wieder ins Gedächtnis zurück, daß die Panzerdecke eine sehr beträchtliche Mächtigkeit besitzt und nach den weiter oben gemachten Ausführungen wohl schon in einer Tiefe von 40—50 km glutflüssig sein würde, wenn die Temperaturzunahme in gleichem Maße erfolgte, wie in den uns in dieser Hinsicht bekannten Teilen der planetaren Rinde. In diesem Falle könnte es dann aber auch keine Erstarrungskruste unter der Panzerdecke mehr geben, weil der glutflüssige Aggregatzustand schon in Tiefen vorhanden wäre, die wahrscheinlich noch oberhalb der ersteren lägen. Stübel nimmt darum zwei verschiedene Arten von geothermischen Tiefenstufen an, und zwar einmal diejenigen, von denen wir einen Teil durch die direkte Untersuchung festzustellen vermögen, diejenigen, die der Panzerdecke und den sie überlagernden Gesteinsbänken zukommen. „Je nach dem Punkte der Beobachtung verhalten sie sich in ihrer Progression von der heutigen Oberfläche der Erde nach der Tiefe hin sehr verschieden, was auch die verhältnismäßig

[1]) **Stübel**, loc. cit.

sehr kleine Zahl der Beobachtungsorte klar dargetan hat.“ Der Anfangspunkt der Skala für die zweite Art liegt nicht an der Erdoberfläche, vielmehr erst im Niveau der planetaren Erstarrungskruste selbst, unterhalb der Auflagerungsfläche der Panzerdecke, und es ist anzunehmen, „daß sie im Gegensatz zu der ersteren, von allen Punkten dieser dem Auge verborgenen Sphäre gegen das Zentrum der Erde hin eine gleichmäßige Progression besitzt, die aber weit langsamer nach der Tiefe zu fortschreiten dürfte, als dies für die erstere experimentell festgesetzt worden ist.“ Aus dem schon vorher Gesagten erhellt, daß der Temperaturgrad, mit dem die zweite Kategorie der geothermischen Tiefenstufen einsetzt, weit unter dem Schmelzpunkt der die oberflächliche Rinde des Planeten zusammensetzenden Gesteine liegen muß.

Schon weiter oben ist ebenfalls angedeutet worden, welcher Umstand die Veranlassung zum Ausstoßen so ungeheurer Massen glutflüssigen Materials, das die Panzerdecke bildet, gewesen ist. Notwendigerweise mußten nun innerhalb dieser Gesteinsanhäufungen, die ihren in der Tiefe begonnenen Erstarrungs- und Erkaltungsprozeß an ihrem neuen Lagerungsorte noch fortsetzten, die gleichen Vorgänge platzgreifen, wie die waren, durch welche sie auch aus den Eingeweiden der Erde herausgehoben wurden. So entstanden über der Erstarrungskruste Behälter glutflüssigen Magmas, vulkanische Herde, und zwar peripherische Herde, im Gegensatz zu dem zentralen Hauptherde. Bei vielen dieser ersteren darf man ohne weiteres eine überaus beträchtliche horizontale Ausdehnung und einen enormen Kubikinhalt voraussetzen. „Wenn wir aber einerseits wissen, welch schlechter Wärmeleiter die Erstarrungskruste eines Lavastromes ist, und uns anderseits vergegenwärtigen, daß die peripherischen Herde vermöge der bei ihrer Entstehung gebahnten Ausbruchskanäle mit dem zentralen Hauptherd in Verbindung bleiben und von diesem aus jederzeit aufs neue gespeist werden konnten, so wird es einleuchten, daß unermeßlich lange Zeiträume verstreichen mußten, bis die vulkanische Kraft in diesen oberflächlich abge-

lagerten Eruptivmassen gänzlich erstarb, und es liegt sogar sehr nahe anzunehmen, daß Herde dieser Art geschaffen wurden, in denen die vulkanische Kraft bis zum heutige Tage nicht erstorben ist[1])."

Von Lord Kelvin (Sir William Thomson) wurde einmal der Satz ausgesprochen, beim gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft sei diejenige Annahme die vorzuziehende, daß unser Planet einen chemisch untätigen, in der Abkühlung begriffenen Körper darstelle. Das hat wiederum Friedrich Ratzel[2]) eine resignierte Antwort genannt, entstanden unter dem Banne der ehrwürdigen Hypothese von der im Erdinnern noch vorhandenen planetaren Urwärme. Und diese sei aber eine kindliche Vorstellung, sei doch die Erde keine mit der Wärmehaube bedeckte Kaffeekanne, und sei das ferner auch gar nicht die Folgerung aus der Kant-Laplaceschen Theorie. Denn diese verlange vielmehr immer neue Wärmeerzeugung für die Kugel, die sich langsam von außen nach innen abkühlt, zugleich aber auch zusammenzieht, wodurch mehr Wärme geschaffen wird, als durch Ausstrahlung verloren geht. „Der zusammenschrumpfende Ball wird aber innerlich wärmer durch die mechanische Folge seines äußeren Wärmeverlustes, der durch ununterbrochene Wärmeabgabe an seine kalte Umgebung erfolgt." Die Erde sei, meint der Genannte, niemals wärmer gewesen, als jetzt, so weit wir in ihrer Geschichte zurückblicken können, besitze demnach eine gewaltige Wärmequelle, handle es sich doch um Millionen von Jahren. Und es sei dieser Wärmevorrat kein passiv aufgespeicherter, sondern ein sich beständig erneuernder.

Schon vor geraumer Zeit ist der Engländer Hopkins[3]) durch die Präzessionserscheinungen zu der Überzeugung gebracht worden, unser Erdkörper müsse gänzlich starr sein, eine Anschauung, die auch G. Darwin, Wiechert und andre Physiker

[1]) Stübel, loc. cit.

[2]) Die Erde und das Leben, I. Leipzig-Wien, 1901.

[3]) Researches in Physical Geology. In: Philos. Transactions of the Roy. Society of London, LXXIX, 1839; LXXX, 1840; LXXXII, 1842.

und Astronomen immer und immer wieder vertreten haben. Ein glutflüssiger und planetarer Kern wäre nicht imstande der festen Kruste in ihren täglichen Umdrehungsbewegungen zu folgen, und die durch Sonne und Mond auf und an unserm Planeten hervorgerufenen Anziehungserscheinungen müßten im Falle der Existenz eines feurigflüssigen Innern andre sein, als sie tatsächlich sind. Ebbe und Flut könnten nicht zur Ausbildung gelangen, wenn ein von einer dünnen Kruste umschlossener feurigflüssiger Erdkern vorhanden wäre. Man hat nun versucht, diese Behauptung auf experimentellem Wege zu widerlegen, indem man nachweisen wollte, daß eine in einem rotierenden kugeligen Gefäße eingeschlossene Flüssigkeit diesem ersteren vollständig in seinen Bewegungen folgen müsse. Bis zu einem gewissen Grade ist dieser Versuch auch gelungen, aber nur bis zu einem gewissen Grade. Denn eine völlige Übereinstimmung des Bewegungszustandes im Gefäße mit demjenigen der darin befindlichen Flüssigkeit war nicht zu erreichen. Die Eruptionen glutflüssiger Massen aus den Vulkanschloten, die ja mit einem festen und starren Erdinnern nicht zu vereinbaren waren, suchte Hopkins mit der Annahme großer, aber in nur geringen Tiefen belegener Behälter, die mit geschmolzenem Materiale angefüllt seien, zu erklären.

Auch der Österreieher Reyer[1]) ist ein Anhänger der Theorie von einem starren oder beinahe starren Erdkörper. Die Hauptmasse des Magmas, des ursprünglich glutflüssig gewesenen Gesteinsbreies ist in der Tiefe verfestigt, und zwar infolge des hohen Drucks, dem die der Verfestigung entgegenwirkende Temperatur die Wage nicht zu halten vermag. Aber dennoch ist das Magma ausbruchsfähig. Entsteht nämlich aus irgendwelchen Gründen, vielleicht infolge von Spannungsunterschieden, ein Riß in der Erdkruste, der sich tief ins Magma hinein erstreckt, so wird Gleiches stattfinden, wie beim Zerbrechen einer mit

[1]) Theoretische Geologie, Stuttgart 1888.

Paraffin gefüllten Röhre, in welcher diese Substanz unter hohem Druck und trotz hoher Temperatur in starrem Zustand erhalten wird. Durch die Druckentlastung wird das Paraffin erweicht werden, und Gleiches geschieht mit dem Magma. Da dieses letztere aus einer Reihe verschiedener Silikate von jeweils anderm Schmelzpunkte besteht, so kann es nur teilweise liquid werden. Wäre es nur aus einer Substanz allein zusammengesetzt, so müßte die Verflüssigung dagegen eine allgemeine werden. Die Intensität der erweichenden Wirkung des Risses muß eine um so beträchtlichere sein, je tiefer und je heißer die vom Druck befreiten Teile des Magmas waren.

Reyers Versuch, die von der Astronomie gestellte Forderung eines in starrem Zustand befindlichen Erdinnern mit der zur Erklärung der vulkanischen Erscheinungen notwendigen Annahme des Vorhandenseins glutflüssiger Materie in der Tiefe in Einklang zu bringen, ist ein äußerst geistreicher. Eine noch bessere Versöhnung beider sich scheinbar diametral entgegenstehender Anschauungen hat in neuester Zeit der schwedische Gelehrte Svante Arrhenius angestrebt[1]). Bei Annahme einer geothermischen Tiefenstufe von 30 Meter und bei der Voraussetzung, die Wärmezunahme schreite in größeren Tiefen etwa in gleichem Verhältnis fort, wie dies innerhalb der uns in dieser Hinsicht bekannten 2000 Meter der Fall ist, kommt der Ebengenannte zum Schluß, daß in der Tiefe von 40 km eine Temperatur von 1200° C entwickelt sein müsse. In derselben Tiefe beträgt der Druck 10840 Atmosphären, wenn man von einer mittleren Dichte der Erdkruste von 2.8 mal derjenigen des Wassers ausgeht. Bei dieser Temperatur aber werden die meisten der gewöhnlichen Mineralien verflüssigt, und diese lösen die schwerer schmelzbaren Bestandteile auf; der letztere Umstand wird durch den hohen Druck wahrscheinlicherweise noch wesentlich begünstigt, weil in den meisten Fällen die Auflösung mit einer Kontraktion

[1]) Zur Physik des Vulkanismus. In: Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, 1900. Stockholm 1900. Kosmische Physik, I, 1903.

verbunden ist. Folglich hat man von einer Tiefe von etwa 40 km ab einen feurig-flüssigen Zustand des Erdinneru anzunehmen, und von da ab herrscht das Magma, eine infolge des hohen Drucks äußerst zähflüssige und wenig zusammendrückbare Flüssigkeit.

Weil aber in einer Tiefe von 300 km die Temperatur so hoch ist, daß sie zweifelsohne die kritische Temperatur jedes bekannten Körpers übersteigt, so kann dieser erwähnte Zustand des glutflüssigen Magmas nicht bis zu besonders größeren Erdtiefen vorhalten, und es muß das letztere in kontinuierlicher Weise in ein gasförmiges Magma übergehen. Und in diesem dürften die Zähflüssigkeit und der Mangel an Zusammendrückbarkeit noch größere sein, als im flüssigen Magma. Denn, wenn man von Gasen bei hohen Temperaturen und Drucken spricht, wie diejenigen, welche im Erdinnern herrschen, so hat man sich darunter — wie Arrhenius an einigen Beispielen zeigt — etwas ganz andres vorzustellen als das, was man gewöhnlich unter dem Begriff Gas versteht. Die Dichtigkeit, die Kompressabilität und die Zähflüssigkeit eines solchen Gases sind von einer solchen Größenordnung, daß wir es wegen dieser Eigenschaften als festen Körper bezeichnen würden, wenn wir aus wichtigeren Umständen nicht schließen müßten, daß ein gasförmiger vorläge.

Die schon weiter oben angeführte Ansicht vom Vorhandensein eines aus Eisenmassen bestehenden Erdkerns wird auch von Arrhenius geteilt. Zufolge seiner großen Dichtigkeit muß dieser Eisenkern aber tiefer als das Gesteinsmagma liegen und wegen der hohen Temperatur sich in gasförmigem Zustand befinden[1]). Etwa die Hälfte des Erdkörpers dürfte demnach aus Eisen bestehen, worin andre Metalle in geringerer Menge gemischt vorkommen. Die Halbmesser der gasförmigen Eisenkugel würde dann ungefähr 80 Prozent des Erdhalbmessers betragen, dann

[1]) Die Temperatur im Mittelpunkt der Erde würde nach Arrhenius rund 100000° betragen, der Druck 3 Millionen Atmosphären groß sein.

kämen an 15 Prozent gasförmiges und 4 Prozent flüssiges Gesteinsmagma, während der Rest, nicht ganz ein Prozent, auf Rechnung der festen Erdkruste zu setzen wäre. Zufolge der außerordentlich großen Zähflüssigkeit der unteren Schichten können diese, wenn verschiebende Kräfte auf sie einwirken, ineinander geschoben werden und sich unter der Wirkung der Schwerkraft lange so erhalten, und so ist die Vorstellung erlaubt, daß Eisenmassen, wenn sie sich einmal durch Reduktion oder andre Vorgänge im Magma befinden, lange genug darin verbleiben können, um von einer vulkanischen Eruption an die Erdoberfläche befördert zu werden. Gleiche Annahmen gelten auch für die verschiedenen Magmaarten, für kieselsäurereichere oder saure, und für basische oder kieselsäureärmere. Bei vorhandenem Ruhezustand müssen die letztgenannten von wegen ihres höheren spezifischen Gewichts die niedrigere Lage einnehmen.

In jüngster Zeit hat die rastlos vorwärtsstrebende Erdbebenforschung unsre Anschauungen von der Beschaffenheit der Tiefen des Erdballs um einen großen Schritt weiter gebracht, und zwar auf Grund der Beobachtungen, welche an den über unsren ganzen Planeten verbreiteten Erdbebenstationen mittels der Seismographen gemacht worden sind. Mit Hilfe dieser verfeinerten Instrumente ist man in der Lage, den Gang der Bebenwellen, jener wellenförmigen Erschütterungen, welche sich infolge der Elastizität des Erdkörpers von dem Zentrum des Erdbebens aus fortpflanzen, genau zu verfolgen, und man weiß heutzutage, daß ein Teil dieser letzteren, die der sogenannten Hauptstörung, — diejenigen, auf welche die katastrophalen Erscheinungen bei den Erdbeben zurückzuführen sind, — sich oberflächlich fortpflanzen, während ein andrer Teil, die Wellen der Vorstörungen, in beliebige Erdtiefen hinabtaucht, unter gewissen Umständen sogar den Erdmittelpunkt durchläuft, um dann an die Erdoberfläche zurückzukehren. Diese letzteren, die Wellen der Vorläufer, wie man sie auch genannt hat, besitzen eine erheblich größere Geschwindigkeit als die Erdbebenwellen der Haupt-

störungen. Nun kann man aus der Art und der Geschwindigkeit, mit denen sich elastische Wellen durch ein Medium hindurch fortpflanzen, Schlüsse auf die elastischen Eigenschaften dieses Mediums selbst ziehen. Da im allgemeinen nun die Größe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Vorläufer-Bebenwellen gewinnt, je tiefer dieselben ins Erdinnere hinabdringen, und zwar derart, daß die Steigerung dieser Geschwindigkeit im äußersten Fünftel des Erdballs ungemein rasch erfolgt, während sie sich weiter dem Erdmittelpunkt zu wieder verlangsamt, so hat Wiechert[1]) daraus gefolgert, daß in rund 1500 km Tiefe die Beschaffenheit, und insbesondere die Dichtverhältnisse der dort lagernden Massen sich ziemlich plötzlich ändern müssen.

„In dem Steinmantel der Erde, den wir uns als eine heterogene, kristallinisch differenzierte, im wesentlichen dem Granit gleichende Masse vorstellen müssen, wächst mit dem Druck auch die Dichte, und man begreift unschwer, daß damit auch die Geschwindigkeit der Bebenwellen sich entsprechend steigern muß. In dem glutigen Metallkern im Innern herrscht dagegen, wohl der durch die Hitze bedingten Dissoziation der Materie wegen, Homogenität, und die Dichte dürfte ebensowenig wie die Temperatur sonderliche Verschiedenheiten zeigen; auch die Erdbebenwellen erfahren darum hier keine wesentliche Beschleunigung mehr[2])."

Der erwähnte Gesteinsmantel dur Erde besteht nach Wiechert aus Stoffen, deren Dichte an und nahe der Erdoberfläche 2,7 beträgt, nach unten zu jedoch rasch auf 3,4 anwächst. Derselbe ist etwa 100 km mächtig und ruht auf einer im plastischen Zustande befindlichen Gesteinszone, die ihn vom Eisenkern scheidet. Die Annahme einer solchen, wenn auch nur von geringer Dichte, wegen den Fortpflanzungserscheinungen ist nach Wiechert sowohl wegen der Vulkane, als auch wegen der

[1]) Die Erdbebenforschung, ihre Hilfsmittel und ihre Resultate für die Geophysik. In: Physik. Zeitschrift 1908.

[2]) Lenk, H. Über die Natur des Erdinnern. Erlangen 1909.

Fortpflanzungserscheinungen der Erschütterungswellen bei Erdbeben notwendig. Der Kern selbst besitzt eine mittlere Dichte von etwa 8,5, die nach dem Erdmittelpunkte zu noch zunimmt, von außerordentlicher Starrheit („Riegheit") ist, die etwa viermal so groß sein soll, als diejenige des Stahls, — sehr wahrscheinlich aus Nickeleisen besteht und $^3/_4$ bis $^1/_5$ des Erdradius einnimmt. Die Temperatur dürfte 3000° C kaum überschreiten, und der im Erdmittelpunkt vorhandene Druck betrüge etwa einige Millionen Atmosphären. „Als Ganzes betrachtet, d. h. abgesehen von der verhältnismäßig dünnen Rinde, deren Starrheit gering ist, hat die Erde auch für Wiechert die Starrheit einer Stahlkugel[1])." Für den Eisenkern, der auch Chrom enthalten dürfte, hat man auch die Bezeichnung Nife vorgeschlagen, nach seinen beiden hauptsächlichsten Komponenten Ni und Fe, oder den Namen Barysphäre. Nach der chemischen Beschaffenheit des darauf ruhenden Steinmantels könnten dann zwei Zonen unterschieden werden, eine untere mit vorherrschendem Si und Mg, die man als Sima bezeichnet, und eine obere, nach den darin vorwaltenden Elementen Si und Al Sal genannt. Die weiter oben erwähnte Änderung in den Dichteverhältnissen und in der Beschaffenheit der in der Tiefe lagernden Massen bei 1500 km würde also zwischen Nife und Sima Platz greifen, wenn auch wohl nicht derartig, daß in stofflicher Hinsicht eine absolut scharfe Grenze bestünde. Man wird sich allerhand Übergänge von dem Nife nach dem Sima vorstellen müssen, aus denen sich dann allmählich die reine Simazone entwickelt. Und diese ist dann gleichfalls durch Übergänge mit der Salzone verbunden, welche der Hauptsache nach aus Gneißen und den damit verwandten Urgebirgsgesteinen besteht. Auf den salischen Felsarten lagert der Block der Sedimentärgesteine, die Stratosphäre, die ganz aus dem regenerierten Detritus der ersteren aufgebaut ist. Aus den Ergebnissen, welche die Untersuchung zahlreicher

[1]) Kayser, loc. cit.

Metloriten gezeitigt haben, hat man gefolgert, daß auch die übrigen Planeten einem dem unsrigen analogen Bau aufweisen müssen, daß wenigstens die Nife und die Simazone sich daranf vorfinden, vielleicht auch das Sal.

Wir haben im Vorstehenden nur eine kleine Anzahl der wichtigsten Ansichten über den vermutlichen Zustand des Erdinnerns gebracht. Noch eingehendere Erörterungen dieser Dinge würden weit außerhalb des Rahmens unsres Buches liegen. In neuester Zeit hat sich Hermann Thiene in Jena der Aufgabe unterzogen, eine Zusammenstellung und kritische Beleuchtung aller Hypothesen über die Temperatur und den Zustand des Erdinnern zu machen, auf welche wir diejenigen unsrer Leser, die sich in erschöpfenderer Weise über diesen Gegenstand belehren lassen möchten, verweisen [1]).

[1]) Temperatur und Zustand des Erdinnern. Jena 1907.

Zweiter Abschnitt.

Der Streit um die vulkanische Spalte.

Neptunistische Anschauungen. Erhebungskrater. Aufschüttungstheorie. Lyells Ansichten von den Vulkanen. Die präexistierende Spalte, ein geologisches Dogma. Erste Versuche, daran zu rütteln. Gilberts Laccolithen. Laccolithenbildungen in der Gegenwart. Löwls Abhandlung über Spalten und Vulkane. Ausbruchsröhren im Grand-Cannon-Distrikt. Geikie und die britischen Vulkane. Daraus gezogene Schlüsse. Branca und das Maargebiet von Urach. Weitere von präexistierenden Spalten unabhängige Vulkangebiete. Diatremen in der Karoo. Daubrées Experimente über die Bildung der Diatremen. Einwürfe Chapers. Stübels Meinung von der Unabhängigkeit der Vulkane Südamerikas von präexistierenden Spalten. Brancas Folgerungen daraus. Die Unabhängigkeit der Vulkane Sumatras und Mexikos von vorhandenen Spalten, nach Volz und Böse. Brancas Zusammenstellung derjenigen Areale auf Erden, in welchen an Spalten unabhängige Vulkane nachgewiesen werden. Die Ansicht von Hibsch über den Zusammenhang der Eruptionsstellen im böhmischen Mittelgebirge von Spalten. Die Herdubreid auf Island. Ansichten von Felix und Lenk über die Entstehung der Vulkane Mexikos. Bergeats Meinung über die Frage von dem Zusammenhang von Vulkanen und Spalten. Spalten sind nicht immer an der Erdoberfläche sichtbar. Spalten und Zerrüttungszonen. Der gegenwärtige Stand der Streitfrage. Schlußbemerkungen.

Steinkohlenlager und andre entzündliche Stoffe im Erdinnern, die in Brand geraten sind, verursachen die Entstehung der tätigen Vulkane. So lehrte Abraham Werner in Freiberg; gab es doch für den Vater der Geologie überhaupt keine aus Glutfluß erstarrten Gesteine! Diese alle waren lediglich durch Wasserabsätze gebildet. Wenn auch diese Ansichten der neptunistischen Schule zu Anbeginn des 19. Jahrhunderts trotz der Arbeiten Spallanzanis, Dolomieus und andrer

die vorherrschenden gewesen sind, so hat es doch schon auch damals nicht an Gegnern derselben gefehlt, und den von Werner geführten Neptunisten standen die Plutonisten mit James Hutton und J. Hall an ihrer Spitze schroff gegenüber. Dieser unliebsame und recht unerquickliche Streit zwischen beiden Richtungen hat viele Jahre hindurch das rege Interesse der weiteren naturwissenschaftlich gebildeten Kreise in Anspruch genommen.

Durch Werners bedeutendsten Schüler, durch Leopold von Buch, kam die neptunistische Schule wohl gänzlich zum Fall. Reisen in das Gebiet des französischen Zentralplateaus und in das italienische Land hatten die Ansichten Werners bei Leopold von Buch schon bedenklich erschüttert, das Studium der Vulkane auf den Kanarischen Inseln mußten den märkischen Edelmann dann völlig von der Unhaltbarkeit der Freiberger Lehren überzeugen. Mit seiner Theorie von den Erhebungskratern hat sich der Schüler in den diametralen Grundsatz zu den Anschauungen seines Lehrers gesetzt. Hand in Hand mit Leopold von Buch ist noch ein andrer gegangen, der gleichfalls zu Werners Füßen gesessen hatte, der Verfasser des Kosmos, Alexander von Humboldt. Die in seiner „Reise in die Äquinoktialgegenden“ niedergelegten Beobachtungen und Betrachtungen konnten der Auffassung seines geologischen Freundes nicht nur als wesentliche Stütze dienen, sondern diese noch in vielen wichtigen Punkten ergänzen.

Nun hat die Lehre von den Erhebungskratern, von einer von unten her nach oben hin wirkenden Stoßkraft der unterirdischen Gewalten, die eine zentrale Emporhebung der Vulkanberge zur Folge haben sollte, nicht bei allen Fachleuten ungeteilte Anerkennung gefunden. Beinahe zu derselben Zeit, in der Buchs epochemachendes Werk über die Kanarischen Inseln erschien, hat auch Poulett-Scrope seine Abhandlung „Über Vulkane“[1]) der Öffentlichkeit übergeben, noch heutzutage eines

[1]) 2. verbesserte und vermehrte Auflage. Übersetzt von G. A. v. Klöden Berlin 1872.

der Fundamentalwerke für unsere Kenntnis der vulkanischen Erscheinungen auf Erden. Sein Verfasser bestritt auf das lebhafteste die Möglichkeit einer zur Entwicklung von Erhebungskratern führenden blasenartigen Auftreibung der Erdrinde. Das in ausbruchsfähigem Zustande befindliche Magma ist es, das in seinem Bestreben sich beim Übergange aus dem mehr oder weniger festen Zustand in den flüssigen auszudehnen, Spalten in die über ihm lagernden Gesteinsmassen reißt und sich somit den Weg zur Erdoberfläche bahnt. Der über einer solchen Spalte zur Entstehung kommende Vulkanberg wird aber nicht durch eine Auftreibung der auseinandergesprengten Gesteinsschichten gebildet, sondern lediglich nur zusammengesetzt durch die aus der feurigen Esse emporgestiegene feuerflüssige Materie, durch die vulkanischen Aschen, Lapilli und Bomben, und durch die Laven. Die Lehre von den Aufschüttungskegeln und den homogenen Vulkanen fand damit ihre erste Begründung. Daß die über dem Magma lagernden Gesteine durch dieses letztere eine Art von Aufwölbung erleiden können, das hat Poulett-Scrope allerdings ebenfalls zugegeben, aber in weiterem Sinne und nicht nur solche lokale Aufrichtung der durchbrochenen Schichten hervorbringend, wie das Buch angenommen hatte. Die seinem Werke entnommene Abbildung mag veranschaulichen, auf welche Weise der englische Geologe sich diese Verhältnisse vorgestellt hat (Fig. 4).

Auch Poulett-Scrope hatte die große, bereits am Schluß des 18. Jahrhunderts von Spallanzani hervorgehobene Rolle des Wassers bei den vulkanischen Ausbrüchen richtig erkannt, und Charles Lyell, der durch das Studium vom geologischen Bau der Somma und des jetzigen Vesuvkegels von der Unhaltbarkeit der Theorie von den Erhebungskratern gründlich überzeugt worden war, schrieb dem Wasser sogar jede ursächliche Tätigkeit bei den vulkanischen Vorgängen und den Erdbeben zu. Die im Felsgerüst der Erde zirkulierenden Wassermengen treffen seiner Meinung nach auf größere und kleinere Massen glutiger

Materie, die wiederum durch eine Reihe besondrer Verhältnisse und Kraftäußerungen chemischer, elektrischer und magnetischer Natur entstanden sind; hier verwandelt sich das Wasser in Dampf und muß infolge des hohen Drucks, den es solchergestalt auf die über ihm lagernden Gesteinsmassen ausübt, das Zustandekommen der vulkanischen Erscheinungen bewirken. Einen ferneren Beweis für den innigen Zusammenhang zwischen dem Wasser und den Phänomenen des Vulkanismus sah Lyell noch im Umstande der Nachbarschaft der meisten Feuerberge mit den vulkanischen Depressionen auf unserm Planeten.

Nichtsdestoweniger blieb die Buchsche Lehre bestehen; neben Humboldt bekannten sich Elie de Beaumont, Dufrénoy, St. Claire-Deville, Abich und noch andre große Forscher mehr zu derselben. Erst infolge der vulkanologischen Untersuchungen Hartungs auf den Kanaren und den Azoren, Junghuhns auf Java, Danas auf Hawaii, Prévosts in Süditalien, Vogelsangs in der Eifel, Fouqués auf Santorin und noch andrer mehr verschwand sie im siebenten Jahrzehnt des verflossenen Jahrhunderts endgültig von der Bildfläche. Mittlerweile waren die Ansichten von Scrope und Lyell die maßgebenden geworden und hatten noch insofern eine Erweiterung erfahren, als durch die zunehmende Kenntnis des Aufbaues der Lithosphäre scheinbar als zweifellos festgestellt werden konnte, daß die Vulkane in inniger Verbindung zu den Dislokationen auf derselben stehen müßten. Da gerade die großartigsten Schollenverschiebungen sehr oft an den Kontinentalrändern, an den Begrenzungslinien zwischen Festland und Meer auftreten, zumal ja wohl die ozeanischen Einsenkungen die abgesunkenen Teile der Erdfeste, die stehen gebliebenen oder emporgehobenen dagegen die Festlandsmassen darstellen,

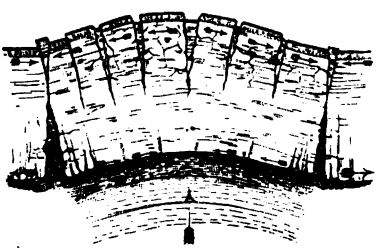


Fig. 4. Aufwölbung der Erdrinde durch das Magma. Nach Scrope.

so fand das fast durchgängig auf die Meeresküsten beschränkte Auftreten der tätigen Feuerberge durch diese Umstände die einfachste und verständlichste Erklärung. Für die gleichartige Entstehung vieler Vulkane aus vergangenen geologischen Perioden, die sich in der Gegenwart als in größerer oder auch sehr großer Entfernung vom Meere befindlich erweisen, konnte man ins Feld führen, daß sie zur Zeit ihrer Tätigkeit in der Nähe von größeren Wasserflächen, sei es nun Meer- oder Süßwasser gewesen, gebildet worden seien.

So war also die Präexistenz das Vorhandensein einer Spalte die erste Grundbedingung für das Zustandekommen eines Vulkans. Nicht die glutflüssige Materie und die von ihr entsendeten Gase schaffen sich selbst ihren Ausbruchskanal, wie Poulett-Scrope das vertreten hatte, sondern um den feurigen Massen den Austritt aus den Tiefen zur Oberfläche des Erdkörpers zu gewähren, muß ein solcher a priori schon vorhanden sein. Der von Prévost ausgesprochene Satz, das eruptive Magma benütze lediglich nur die vorhandenen Lösungen der Kontinuität der Erdrinde, um hervorzutreten und sich auszubreiten, erhielt allgemeine Geltung.

Die Wissenschaft soll nicht dogmatisch sein, denn die Erforschung der Wahrheit darf durch nichts unterbunden und gehindert werden. Voraussetzungslosigkeit, soweit diese menschenmöglich ist, ist für freie wissenschaftliche Forschung eine conditio sine qua non. Wenn nun in neuester Zeit dem Gedanken Ausdruck gegeben worden ist, der Mensch sei von a bis z dogmatisch, und dogmatisch seien die Grundlagen jeder Wissenschaft, so ist das zu bestreiten. Vollends für die Geologie! Haben wir doch im Vorhergehenden gesehen, daß so vieles dessen, was diese Wissenschaft verkündet, zur Kategorie der Rastvorstellungen gehört. Letztere sind uns aber nur Mittel bei unsrem Suchen nach der Wahrheit, nicht aber die Wahrheit selbst, wenn man so will. nur temporäre, nur subjektive, nicht

objektive Wahrheit. Hat aber jemals ein Dogma, ein Glaubenssatz, in der geologischen Wissenschaft bestanden, so ist es sicherlich derjenige gewesen, der das Vorhandensein einer Spalte zur Vorbedingung jeder vulkanischen Kraftäußerung („vulkanisch" hier im engern Sinne dieses Begriffs gemeint) macht. Um so größeres und gewaltigeres Aufsehen mußten demgemäß auch die erst ganz schüchtern, dann mit immer mehr Nachdruck auftretenden Versuche erregen, an der Richtigkeit dieses geologischen Dogmas zu rütteln.

Nach Branca, der unter den Forschern, welche die Präexistenz einer Spalte verneinen, vornan steht, ist der erste Ansturm gegen diese scheinbar so festgegründet gewesene Lehre durch den Amerikaner Gilbert getan worden. Dieser wies im Staate Utah in Nordamerika, in den Henry Mountains, ganz eigenartige domförmige Auftreibungen der dortigen Sedimentärmassen auf einem Plateau von 1500 Meter Meereshöhe nach, zu denen der bekannte Mount Ellsworth gehört. Die höchste Kuppe, der Mount Ellen, erhebt sich bis zu 3429 Meter über den Spiegel des Ozeans. Trachytische Gesteine von linsenförmiger Gestaltung, welche zwischen die sedimentären Ablagerungen von unten her hineindrangen, haben diese Aufwölbungen bewirkt, deren Erzeuger den Namen Lakkolithe führen. An die Erklärung dieser Erscheinungen hat sich eine lebhafte Kontroverse geknüpft. Nach Sueß war es unbedingt notwendig, daß dem Einbruch des Magmas in die Schichtenreihe die Bildung eines entsprechenden Hohlraumes vorausging, dessen Entstehung durch Massenbewegungen innerhalb der Lithosphäre zu suchen sei. Es ist auch behauptet worden, der von den lakkolithischen Gesteinen eingenommene Raum sei vordem von andern Felsarten ausgefüllt worden, die aber bei der Lakkolithbildung vom Magma aufgeschmolzen worden seien. Vielleicht ist es bei der Erzeugung von Lakkolithen nicht immer nur bei einer Auftreibung der über dem eindringenden Magma befindlichen Gesteinsschichten geblieben, sondern das letztere

ist auch an der Erdoberfläche selbst eruptiv geworden, wie sich aus den Beschreibungen schließen ließe, die vom Lakkolithen am Mount Hesperus in der Sierra La Plata (Südwestkolorado) gemacht worden sind. Von diesem aus dringen eine Anzahl von Lagergängen in die darüber liegenden Gesteine der Kreide ein. Und ein Lakkolith der Spanish Peaks zeigt nicht nur ähnliche Erscheinungen, sondern sogar auch Gänge am Scheitel. Bei einem dieser letzteren scheint sogar ein Ausquellen der Eruptivmassen an die Erdoberfläche stattgefunden zu haben.

Lakkolithische Bildungen sind nicht nur auf die Neue Welt beschränkt, wie die fortschreitende geologische Erforschung der Erde bewiesen hat. Auch in Europa sind dergleichen Dinge vorhanden. Dann ist dieser Vorgang nicht allein auf die Vergangenheit beschränkt gewesen. Man könnte eigentlich den Georgios auf Santorin, der sich am 4. Februar 1866 zum ersten Male über die Meeresfluten erhob, und dessen Geschichte wir schon früher einmal eingehender behandelt haben, auch dazu rechnen[1]). Wenn, wie dies von dem französischen Geologen Lapparent bemerkt worden ist, während der vorhergegangenen Ruheperioden beim Vulkan von Santorin auf dem Meeresboden der Inselbucht eine entsprechende Sedimentärbildung zur Ablagerung gekommen wäre, so würde diese durch die austretenden Lavamassen des Georgios mit in die Höhe gehoben und aufgewölbt worden und eine lakkolithartige Erscheinung gezeitigt worden sein. Und in den jüngstverflossenen Jahren endlich konnte am Vesuv ein Vorgang beobachtet werden, der zweifellos große Ähnlichkeit mit der Lakkolithbildung hat.

Dort hatte sich infolge der seit dem 3. Juli 1895 anhaltenden eruptiven Tätigkeit dieses Vulkans auf einer am Nordwestgehänge des Kegels aufgerissenen Spalte im Atrio del Cavallo eine kuppenförmige Lavaerhebung gebildet, welche 835 Meter über die Meereshöhe aufgestiegen war. In den

[1]) Haas, Aus der Sturm- und Drangperiode der Erde, 2. Aufl., I, S. 56 ff.

Monaten Februar und März 1898 erlitt die bis dahin flache Kuppe eine merkliche Aufblähung und dabei einen Höhenzuwachs von 15 Meter. Die Lavasäule, welche durch den Kuppengipfel nicht mehr austreten konnte, muß die ganze Kuppe hochgehoben haben, bis sie einen neuen Ausweg fand. Während der Zeit der Aufblähung der Kuppe war die Lava im großen Vesuvkrater bis zu 60 Meter gestiegen, nachdem sie früher bis zu einer Tiefe von 200 Metern gesunken war, ein weiterer Beweis für die Erklärungsweise dieses ganzen Vorgangs durch Matteucci, der also eine lakkolithische Zwischenschiebung (Intrusion) frischer Lava zwischen die schon erhärteten Bänke der Lavakuppe darstellen würde. Im Jahre 1899 betrug die Höhe der gehobenen Lavakuppe über dem Niveau des Atrio del Cavallo 163 Meter und hatte einen Inhalt von 125 Millionen Kubikmeter.

Im Jahre 1886 hat Ferdinand Löwl eine Abhandlung veröffentlicht, „Spalten und Vulkane“[1]), die schon darum von größter Bedeutsamkeit ist, weil darin unsres Wissens zum ersten Male klipp und klar ausgesprochen wurde, daß das Magma imstande sei, sich seine eigenen Wege auszusprengen. Daneben sind aber auch wahre Lavagänge durchaus möglich, denn „es wäre ja nicht einzusehen, warum das Magma, wenn es während des Durchbruches durch die Erdkruste in den höheren Schichtenreihen auf Brüche stößt, diesen Brüchen nicht folgen und in ihnen nicht gangförmig erstarren wollte. Ob dabei klaffende Risse oder nur Flächen gelockerten Zusammenhaltes, gleich den Schichtfugen ins Spiel kommen, bleibt ohne Belang. In beiden Fällen muß die Kraft, welche die Lava emportreibt, im Vereine mit den ausspratzenden Gasen die Hauptarbeit leisten.“ „Daß die Vulkane vorzugsweise auf solchen Schollen der Erdrinde sitzen, welche von Bruchlinien durchzogen sind“, so äußert sich Löwl weiter, „wird heutzutage wohl niemand mehr in Abrede stellen. An den niedergebrochenen Rändern pelagischer Becken,

[1]) Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt in Wien, 36. Bd., Wien 1886.

auf der abgesunkenen Innenseite mancher Faltengebirge und auch in zerstückten und verworfenen Tafellandschaften herrscht zwischen dem Gebirgsbaue und den Eruptionen ein gesetzmäßiges Verhältnis, mit dem sich jede Vulkantheorie abfinden muß. Doch über dieses Zugeständnis darf man ohne zwingende Gründe nicht hinausgehen. Ist eine Bruchregion der Schauplatz vulkanischer Ausbrüche, so folgt daraus noch nicht, daß diese Ausbrüche an die einzelnen Bruchlinien gebunden sind.“ Die Basaltdecken, die sich während der Tertiärzeit in Nordböhmen südlich vom Steilabbruch des Erzgebirges ausgebreitet haben, lasten auf dem abgesunkenen Südflügel dieser Bodenerhebung, und auf dem Scheitel der letzteren selbst treten bekanntlich zahlreiche Basaltkuppen auf. Demnach sind hier die vulkanischen Ergüsse nicht auf der Bruchlinie selbst, wohl aber nördlich und südlich von derselben erfolgt.

Die drei Leistungen, welche die Spaltentheorie den großen Bruchspalten zumutet, nämlich einmal das Hinableiten des Wassers zu den vulkanischen Herden, sodann die örtliche Entlastung des unter dem hohen Druck der Erdrinde verfestigten Magmas, damit es sich verflüssigen kann und ausbruchsfähig wird, endlich die Möglichkeit, dem Gesteinsbrei den Durchbruch durch die Gesteinshülle der Erde bis zu deren Oberfläche zu gewähren, sind nach Löwl durchaus unvereinbar mit unsern gegenwärtigen Ansichten vom Verhalten der Gesteine in einer gewissen Tiefe. Denn diese letzteren müssen hier in einem latent-plastischen Zustand sein, und darum sind auch alle Spalten und alle Wasserwege darin verquetscht und verschlossen. Nach den von Heim bei seinen Studien über den Mechanismus der Gebirgsbildung gewonnenen Anschauungen ist es undenkbar, daß Wasser in Tiefen über 5000 Meter unter das durchschnittliche Niveau der Erdoberfläche eindringen kann, und aus diesem Grunde müssen auch die vulkanischen Herde vom Meerwasser abgeschnitten sein. Und ebensowenig ist die latente Plastizität der Gesteine mit der Annahme einer zeitweisen Entlastung des durch den Druck ver-

festigten Magmas in Einklang zu bringen. Ist also in solchen Tiefen eine Spaltenbildung unmöglich geworden, dann ist auch das Aufsteigen glutflüssiger Materie in solchen Rissen absolut ausgeschlossen.

Eine wesentliche Stütze haben diese mehr theoretischen Ausführungen Löwls erhalten durch die von Dutton gemachten Beobachtungen auf dem Uinkaret-Plateau im Grand Cannon-Distrikt. Letzterer konnte nämlich nachweisen, daß alle Schlote der auf der eben genannten Hochfläche ausgestreuten Kraterberge die zusammenhängende Schichtentafel selbst durchbrechen und den großen Spalten derselben fernbleiben, und in einem äußerst lehrreichen Profil der linken Talwand im Grand Cannon selbst den Verlauf einer solchen Basaltröhre bis zu ihrem hart am Steilabsturz der Schlucht aufgesetzten Schlackenkegel auf einem vertikalen Abstand von etwa 1000 Meter verfolgen.

Eigentümliche, runde bis elliptische, von Tuff ausgefüllte, röhrenartig die Erdschichten durchbrechende Erscheinungen im Paläozoikum Mittelschottlands wurden bereits im Jahre 1879 unter der Bezeichnung „Necks“ von A. Geikie beschrieben. Diese Gebilde besitzen große Verbreitung in den dortigen karbonischen Schichten und treten sowohl im Inlande als auch an den Meeresküsten auf, ganz ausnahmsweise nur in der Verbindung mit einer Dislokation der Gesteinsschichten. Es erscheint sogar als Regel, daß ihr Auftreten unabhängig ist von der Bildung des sichtbaren Teils jenes Stückes Erdoberfläche, auf der sie zur Ausbildung gelangt sind. Ihr Durchmesser ist ein sehr wechselnder und kann nur wenige Yards, andernteils aber auch zwei englische Meilen und mehr betragen (Fig. 5 und 6). In einer seiner späteren Publikationen, die sich mit den ehemaligen Vulkanen des britischen Inselreiches in eingehendster Weise beschäftigt[1]), spricht der schottische Geologe die Unabhängigkeit von Spalten nicht nur für diese eben geschilderten karbonischen Vorkommnisse an, sondern

[1]) The Ancient Volcanoes of Great-Britain. 2 vols. London 1897.

verallgemeinert diese Ansicht mit den Worten: „Es kann aber darüber kein Zweifel bestehen, daß bei einer großen Anzahl von Vulkanschloten aus allen geologischen Perioden keine Spur eines Zusammenhangs dieser Gebilde mit irgendeiner Spalte in der Erdkruste nachzuweisen ist. Solche Spalten mögen indessen im Untergrunde bestehen und so der aufsteigenden Lava bis zu einer größeren oder kleineren Entfernung von der Erdoberfläche als Durchgangskanäle gedient haben. Das jedoch ist sicher, daß vulkanische Energie die Kraft besitzt, sich selbst eine Ausgangsöffnung durch den oberen Teil der Erdkruste hindurchzublasen, ohne daß dort irgendeine sichtbare Spalte vorhanden zu sein braucht. Über die Größe der Tiefe, von welcher ab diese Art von Verbindung mit der Außenwelt möglich ist, wissen wir nichts.“ Diese wird, so äußert sich Geikie weiter, natürlich sehr verschieden und abhängig sein einmal von der Größe der vulkanischen Kraftentfaltung selbst, und dann von der Beschaffenheit der Erdfeste an der in Frage kommenden Stelle. Die gegenwärtigen Ausbruchskanäle der nach dem Puy-Typus gebauten Vulkane sind wohl allgemein durch explosionsartige Ausblasungen entstanden, und nicht durch das Aufsteigen der Laven an die Oberfläche vermittels vorhandener Spalten. Geikie geht sogar noch weiter indem er betont, daß die alten Feuerschlünde Großbritanniens verhältnismäßig nur selten mit nachweisbaren Verwerfungslinien in Ver-

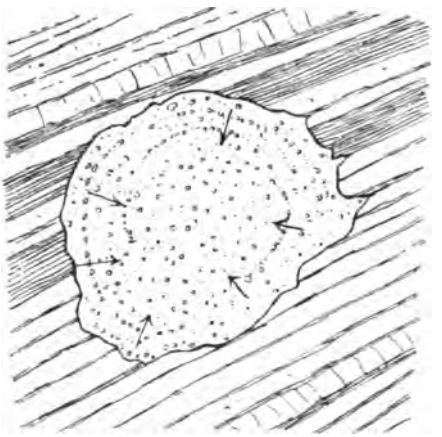


Fig. 5. Grundriß eines Necks aus Ost-Fife. Nach Geikie.

Fig. 6. Querschnitt durch ein Neck aus Ost-Fife. Nach Geikie.

bindung stehen, selbst dann nicht, wenn solche Spalten, die wahrscheinlich schon vor den Ausbrüchen ausgebildet gewesen sind, in ihrer Nachbarschaft auftreten. Diese Unabhängigkeit, für welche es jedoch auch gelegentliche Ausnahmen gibt, kommt besonders in den von den Vulkanschloten durchzogenen Kohlenfeldern zum Ausdruck, zumal hier die bergmännischen Arbeiten viel mehr Verwerfungen registrieren konnten, als deren an der Erdoberfläche zu bemerken sind. Wenn Spalten oder Linien geringerer Widerstandskraft (lines of weakness) die Lage der Ausbruchsschlote in der Erdkruste bedingt haben, so müssen sie unterhalb der nunmehr auf der Erdoberfläche sichtbaren Gesteinsmassen liegen. Einige der hervorragendsten Gruppen von tätigen Vulkanen sind sicherlich derartig reihenweise auf der Erdoberfläche angeordnet, als ob sie auf solchen großen Spalten zur Ausbildung gekommen wären. In der Gegenwart allerdings sind diese letzteren an Ort und Stelle nicht mehr zu sehen, und ihr Vorhandensein ist lediglich Mutmaßung und auf Wahrscheinlichkeitsschlüsse begründet. Dort aber, wo die Spalte an der Oberfläche wirklich einmal vorhanden war, dort würde sie durch die verschiedentlichsten Wirkungen der Eruptionstätigkeit dennoch zweifellos verhüllt und verdeckt worden sein.

Ferner hat der Genannte im Verlaufe seiner Untersuchungen über die alten Vulkanberge Großbritanniens die Wahrnehmung machen können, daß zwischen der Lage der Schlote und der ehemaligen Oberflächengestaltung des betreffenden Areales auffallende Beziehungen bestehen. Aus der langen Entwicklungsgeschichte der britischen Vulkane, soweit zurück deren Auftreten auch verfolgt wurde, geht seiner Ansicht nach klar hervor, daß die dem Austritt der eruptiven Materie dienenden Öffnungen stets vielmehr in Niederungen und Talgründen als auf Bergeshöhen und Hügeln zur Entfaltung kamen. Dieser Umstand, also die Lage der Vulkane in Talzügen, mag im allgemeinen auf im Untergrunde vorhandene und die Richtung bedingende Spaltenlinien zurückzuführen sein, einerlei ob diese letzteren innerhalb

oder unterhalb der an der Oberfläche sichtbaren Gesteinsmassen verlaufen. Zuweilen dürften aber doch auch anderweitige Ursachen die in Frage kommenden Erscheinungen zum Ausdruck gebracht haben. An Stellen, wo das unterirdische Magma bis zu einer verhältnismäßig geringen Entfernung von der Erdoberfläche aufzusteigen vermocht hat, mag eine Mächtigkeitsdifferenz von einigen hundert bis tausend Fuß in den überlagernden Schichten, wie eine solche ja durch den Höhenunterschied zwischen der Talsohle und den diese einschließenden Bergesgipfel bedingt wird, den Austritt der glutflüssigen Materie auf die Punkte hingelenkt haben, wo das Hangende die geringste Stärke besaß, also auch den geringsten Widerstand entgegenbrachte.

An andern Stellen der Erde hat man diesen Verhältnissen entgegengesetzte Beobachtungen machen können. So liegen die Vulkane von Bertrich in der Eifel auf dem Plateau, das sich 230 Meter über dem tief eingeschnittenen Üßbachtale erhebt und nur 500 bis 600 Meter davon entfernt, „und bleibt es", so meint Dechen, „auffallend, daß sie in dieser Nähe dennoch auf der Höhe ausgebrochen sind, während ihnen ein leichter Ausweg in der Tiefe des Tales geboten war," um so auffallender, als sich diese Erscheinung an mehreren Stellen der Vulkanreihe (der Eifel) wiederholt. Für alle Feuerschlünde der Eifel ist dies allerdings nicht der Fall, und es muß betont werden, daß sogar einmal ausdrücklich hervorgehoben wurde, wie eben diese Ausnahmsvorkommnisse eigentlich keine Bedeutung hätten, zumal seit den Tagen der eruptiven Tätigkeit die Talvertiefungen sehr weit vorgeschritten und darum eben die Vulkane damals nicht auf den Höhen gelegen gewesen seien. Die Berge sind vielmehr erst durch die Talerosion zu Erhebungen geworden. Aber gerade die Vulkane von Bertrich stehen über einem alten Taleinschnitt, der also schon vorhanden war, als sie gebildet wurden, und Vogelsang[1]) hat diesen Umstand damit zu erklären versucht, daß

[1]) Die Vulkane der Eifel, in ihrer Bildungsweise erläutert. In: Natuurkundige Verhandelingen van de Hollandsche Maatschappij der Wettenschappen te Haarlem. Haarlem 1864.

dieses Magma hier auf schon gebahntem Wege friedlich emporgedrungen, nicht gewaltsam durchgebrochen sei. Eine lokale Auflockerung des Gebirges durch vorbereitende vulkanische Aktion, so ist seine Ansicht, müsse offenbar unabhängig sein von den Konturen der Erdoberfläche.

Je stärker die Äußerungen vulkanischer Kraft zum Ausdruck gekommen sind, je umfangreicher die Gebiete waren, über die sie sich ausbreiten konnten, und je länger die Dauer ihres Auftretens war, um so größer mußten auch die Bewegungen der Erdkruste sein, mit denen sie in Verbindung standen, und um so ausgedehnter die Areale des Planeten, welche von diesen Bodenbewegungen in Mitleidenschaft gezogen wurden. Einen bemerkenswerten Beweis für einen solchen Zusammenhang scheint die Geschichte der Tertiärvulkane zu liefern, und auch die vulkanischen Ausbrüche früherer geologischer Perioden in Großbritannien haben bedeutsame Fingerzeige für einen derartigen Konnex ergeben. Über alle Zweifel erhaben steht nach Geikie die Tatsache da, daß die vorweltlichen Feuerschlünde des britischen Inselreiches auf einsinkenden, nicht aber auf sich erhebenden Schollen der Erdrinde aufgesetzt gewesen sind. Zwar steht das eigentlich im Widerspruch mit unsern üblichen Annahmen, wonach mit vulkanischer Kraftäußerung Hebung und nicht Senkung verbunden sein soll, wie uns das die in der Gegenwart tätigen Feuerberge lehren. Haben doch ihrer viele und daneben auch manche jüngst erloschene ihr Dasein als submarine Vulkane begonnen. So beispielsweise der Ätna und der Vesuv! Eine solche Hebung mag aber nach Geikies Auffassung nur eine zeitliche Erscheinung sein. Wären wir imstande, die gesamte jüngste geologische Periode zu verfolgen, von welcher die menschliche Geschichte ja nur einen recht kleinen Teil zu registrieren vermag, so fänden wir wohl, daß schließlich doch Senkung und nicht Hebung für vulkanische Gebiete die Regel ist[1]).

[1]) Zu ganz entgegengesetzten und vielleicht richtigeren Ansichten ist allerdings der italienische Vulkanologe G. de Lorenzo gelangt, nach dem Vulkanismus

Die bei seinen Untersuchungen über die Feuerschlünde Großbritanniens gewonnenen Resultate Geikies lassen sich bezüglich der Frage nach dem Fehlen oder nach dem Vorhandensein einer Spalte folgendermaßen zusammenfassen:

1. Für eine große Anzahl von Vulkanen läßt sich irgendein Zusammenhang mit an der Erdoberfläche sichtbaren Spalten nicht nachweisen. Die Möglichkeit, daß aber im Untergrund solche Dislokationen bestehen, ohne daß sie jedoch an der Oberfläche zum Ausdruck kämen, ist nicht ausgeschlossen.

2. Demnach muß also die vulkanische Kraft zweifellos die Macht besitzen, sich ihren Weg zur Oberfläche durch die das Magma überlagernden Gesteinsmassen hindurch selbst zu bahnen, oder wenigstens den letzten und obersten Abschnitt dieses Weges.

3. Eine Neigung des Magmas, an denjenigen Stellen auszubrechen, wo dasselbe infolge der geringeren Mächtigkeit der überlagernden Gesteinsschichten den geringsten Widerstand finden wird, ist unverkennbar, denn mit Vorliebe liegen die Schlotausgänge der Vulkane in Tälern und in Niederungen.

Und als weitere wichtige Ergebnisse, wenn auch in nicht so direktem Zusammenhang mit der hier erörterten Frage stehend, wie die ebenerwähnten drei Sätze, wären zu vermerken:

Die allermeisten magmatischen Ergüsse in der geologischen Geschichte Großbritanniens stehen wohl in Verbindung mit krustalen Bewegungen. Je umfangreicher an Masse, Areal und Zeit diese ersteren gewesen sind, um so ausgedehnter und weitgreifender werden auch diese letzteren sich gezeigt haben.

---

und Hebung Hand in Hand gehende Erscheinungen sind. Siehe darüber in dessen Arbeiten: The Eruption of Vesuvius in April 1906, in: Quarterly Journal of the Geological Society of London, 1906 und: Studio geologico del Monte Vulturo, in Atti d. R. Acc. d. Sc. fis. e. mat. 10. ser 2., Napoli 1901; ferner: Considerazioni sull' Origine superficiale dei Vulcani, ebenda, 11. ser 2., Napoli, 1902, auch: Haas, Über die Solfatara von Pozzuoli, in: Neues Jahrbuch für Mineralogie, usf. 1907, II.

Senkung und nicht Hebung dürfte wohl das endgültige Schicksal einer Erdscholle sein, auf welcher vulkanische Kraft sich betätigt, resp. sich betätigt hat.

Mitten im Herzen Schwabens, am nordwestlich orientierten Steilabhang der schwäbischen Alb, in einem der klassischsten Gebiete der Geologie, in der Umgebung von Urach, sind die Gesteine des jurassischen Systems auf eine etwa 20 Quadratmeilen große Erstreckung hier von einer größeren Anzahl von Ausbruchsröhren siebartig durchbohrt. Es sind die Schlote von etwa 130 Embryonalvulkanen, von Maaren der Tertiärzeit wohl mittelmiozänen Alters, Röhren von rundem oder ovalem Durchschnitt, nie längsgestreckt, und nicht von festen Gesteinsmassen

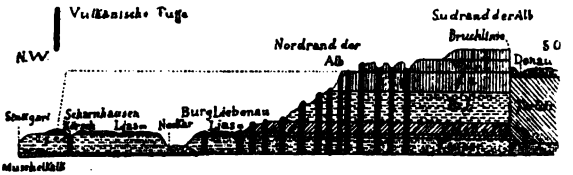


Fig. 7. Schematischer Durchschnitt von Norden nach Süden, von Stuttgart bis nach Oberschwaben, um die Lage der ausgeblasenen Vulkane zu erläutern. (Nach Branca).

erfüllt, sondern von Tuffen, ein breiartiges „wirres Gemenge von vulkanischer Asche und eckigen Bruchstücken aller derjenigen Gesteine der Erdrinde, welche bei der Bildung des Ausbruchskanals durchbrochen wurden.“ Diese ursprünglich losen Auswurfsmassen werden hier und da von in denselben auftretenden gangartigen Bildungen erstarrten Magmas (Melilitbasalt in vorwiegender Menge, untergeordneterweise auch Feldspat- und Nephelinbasalt) durchsetzt. Das läßt sich alles sehr gut beobachten, weil die am Steilabhang der Alb tätige Erosion ungleich wirksamer ist, als diejenige auf dem tafelbergartigen Plateau dieser Erhebung, die im wesentlichen also nicht durch wagerechte, sondern durch senkrechte Schnitte abgetragen wird, so daß ihr Nordwestabhang im stetigen Zurückweichen

begriffen ist. Etwa „wie ein flacher Kuchen, welcher nicht durch horizontal erfolgendes schichtenweises Wegschneiden immer niedriger, sondern durch senkrechtes Abschneiden von Stücken immer kleiner an Umfang wird, aber bis zum letzten Reste hin doch stets gleiche Höhe behält[1]). Der nördlich vom Neckar belegen gewesene Teil des in der Vorwelt ungleich ausgedehnter gewesenen Vulkanareals von Urach ist der Erosion schon längst so sehr zum Opfer gefallen, daß hier nur noch ganz vereinzelte Spuren davon übriggeblieben sind. Dagegen hat diese gesteinszerstörende Kraft in der Gegenwart am Abfall der Alb und in dessen unmittelbarem Vorland viele Vulkanröhren derartig freigelegt, daß wir die sie ausfüllenden Tuffsäulen bis in die große Tiefe von etwa 500—800 Meter hinein verfolgen können. „Wir haben hier eine Erosionsreihe dieser Gänge vor Augen, wie sie schöner und lehrreicher nicht gedacht werden kann. Alle Übergänge sind vorhanden, von dem noch fast völlig erhaltenen Maarkessel an: durch den leicht verletzten, den ganz abgetragenen Kessel, den soeben aus dem Nebengestein den Kopf herausstreckenden Tuffgang der Maare, bis hinab zu dem aus Hunderten von Metern Tiefe herausgearbeiteten Gange und seinem Basaltkerne."

Die Maarkessel sind selbstverständlicherweise nur noch auf dem Albplateau selbst erhalten und haben einen verschieden großen Durchmesser. Das größte, das Randecker Maar, besitzt einen solchen von 1000 Metern, eines der kleinsten, dasjenige von Apfelstetten bei Münsingen, weist nur 300 und 250 Meter Durchmesser auf. Die für die Eifelmaare typisch trichterförmige Gestaltung fehlt den schwäbisehen Vorkommnissen; es sind mehr kesselförmige Bildungen, ausnahmslos ohne Kranz- oder Randwall von Schutt und Tuffen, kreisförmig oder oval, soweit sich deren Umfang eben noch feststellen läßt, auch von

[1]) Branca, Schwabens 125 Vulkan-Embryonen. In: Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 1894 u. 1895, Stuttgart, 1894 u. 1895.

wechselnder Tiefe (30—20 Meter), wobei aber zu bemerken ist, daß diese letztere nicht mehr die ursprüngliche ist, indem sie durch Abtragung des Kesselrandes und durch gleichzeitige Erhöhung des vormaligen Kesselbodens durch hinabgespülten Detritus verringert wurde (Fig. 8 – 10).

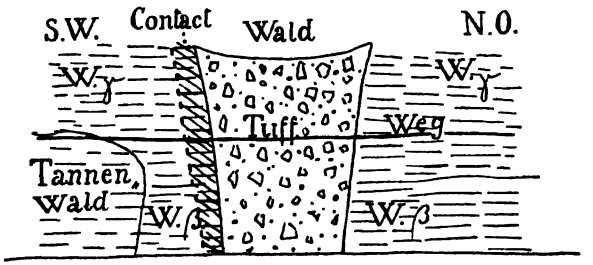


Fig. 8.

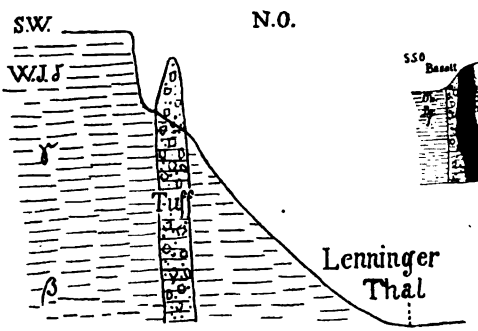


Fig. 9.

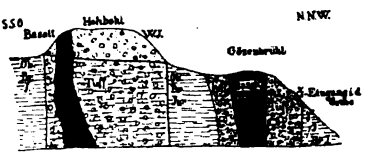


Fig. 10.

Fig. 8—10. Durchschnitte durch einige ausgeblasene Vulkanröhren Schwabens.

Fig. 8. Maar-Tuffgang im Elsachtale bei Urach. Fig. 9. Tuffgang des Conrad-Felsens bei Urach (mündete in einem zerstörten Maarkessel). Fig. 10. Maar-Tuffgänge des Hohbohl und des Götzenbrühl bei Urach. (Nach Branca.)

Daß diese sonderbaren vulkanischen Erzeugnisse auf dem geologisch so gründlich durchforschten Boden Schwabens schon vielfach den Gegenstand eingehender Untersuchungen gebildet haben müssen, das liegt auf der Hand. Und so haben sich denn auch schon vor längerer Zeit einige der namhaftesten Geologen Württembergs mit der Frage nach deren Entstehungsweise beschäftigt; die Lösung jedoch sollte keinem derselben

so recht gelingen, und nicht dem Einheimischen sondern dem Nichtschwaben blieb es vorbehalten, den Schleier völlig zu lüften. Es hat, wir wollen das hier ganz besonders betonen, viel Scharfsinn dazu gehört, und dann auch ein in Dingen des Vulkanismus wohlgeschultes geologisches Wissen. Für beide Dinge war Branca, wie das Beispiel gezeigt hat, der rechte Mann.

Irgendwelche Spaltenzüge oder Verwerfungslinien, längs welcher die schwäbischen Embryonalvulkane angeordnet sein könnten, lassen sich an der Oberfläche jedenfalls nicht nachweisen. Die Unabhängigkeit dieser letzteren von einem zerklüfteten Untergrunde, die Branca bei seinen Untersuchungen nur als seine auf gewisse Beobachtungen gegründete feste Überzeugung aussprechen konnte, mangels einer damals auf diese Gesichtspunkte hin nicht durchführbaren genauen geognostisch-kartographischen Untersuchung des betreffenden Gebietes, ist inzwischen durch neuere Arbeiten von Eberhard Fraas in einwandfreiester Weise bestätigt worden. Nicht nur daß die dort vorhandenen tektonischen Störungen ganz unabhängig von den vulkanischen Herden verlaufen, sondern es sind die ersteren vielleicht sogar noch jünger, als diese[1]).

Als Resultat seiner Forschungen über das soeben erwähnte Maargebiet sprach Branca die Ansicht aus, „daß die so zahlreichen, freilich nur embryonal gebliebenen Vulkanbildungen in der Umgebung von Urach an der Schwäbischen Alb sich unabhängig von Spaltenbildungen vollzogen hätten. Eine weitere Stütze für seine Anschauung erhielt Branca durch die ihm von dem Straßburger Professor Dr. Bücking gemachten Mitteilungen. Dieser, der lange Jahre hindurch die geologische Aufnahme des Rhöngebirges am östlichen Rand des Vogelsberges, im westlichen Spessart und am Südwestrande des

[1]) Die Einwürfe, welche Hauptmann Kranz gegen diese Auffassung geltend gemacht hat (Centralblatt für Mineralogie, usw., 1908, No. 18—21), fallen in sich zusammen, denn die von diesem Autor angenommenen Spalten im Maargebiet von Urach sind nur von Kranz vermutete, aber nicht nachgewiesene.

Thüringer Waldes ausgeführt hatte, konnte ihm die Überzeugung aussprechen, „daß mindestens viele der dortigen, teils mit Basalt, teils mit Tuff erfüllten Durchbruchskanäle ganz zweifellos in vollster Unabhängigkeit von Spaltenbildungen enstanden sind. Die Ähnlichkeit dieser vulkanischen Bildungen der Rhön mit denen von Urach erstreckt sich also nicht nur auf ihre äußere Erscheinungsweise, sondern auch darauf, daß die vulkanischen Massen sich hier ebenfalls selbsttätig Wege gebahnt haben[1])."

Ebenso konnte Blanckenhorn[2]) durch seine geologischen Untersuchungen am nordwestlichen Rande der Rhön bestätigen, daß dort die Eruptionen „im allgemeinen oder vorherrschend auch unabhängig von Spalten vor sich gingen", und zwar durch explodierende Gase, und zu ähnlichen Ergebnissen ist Max Bauer[3]) anläßlich seiner Forschungen an den Basaltdurchbrüchen Niederhessens gelangt. Auch Steinmann und Graeff[4]) haben Beweise für die Anschauungen von Branca aus der Gegend von Freiburg in Baden und von Albinbach im Schwarzwalde erbracht, einige kleine Tuffvorkommnisse in der Eifel[5]) dürften ebenfalls dafür sprechen, wie auch die von Daubrée aus dem Pug-en-Velay[6]) und von A. Geikie[7]) von den Inseln Stromö und Sky beschriebenen, tufferfüllten Röhren.

---

[1]) Über die vulkanischen Durchbrüche in der Rhön und am Rande des Vogelsberges. In: Gerlands Beiträge zur Geophysik, VI, 2, Leipzig, 1903; dann: Geologie der Rhön. In: Festschrift für die silberne Jubelfeier des Verbandes deutsche Touristenvereine, Fulda, 1909, u. a. a. O.

[2]) Zur Kenntnis der vulkanischen Erscheinungen und der Stratigraphie am Nordwestrande der Rhön. In: Jahrb. d. k. preuß. geol. Landesanstalt 1904, Bd. 25. Berlin 1906.

[3]) In: Sitzgsber. der math.-phys. Klasse d. k. preuß. Akademie der Wissenschaften. Berlin. 1900.

[4]) Geolog. Führer durch die Umgebung von Freiburg. Freiburg 1890, u. a. a. O.

[5]) Dechen, Vulkane der Eifel.

[6]) Siehe Branca, Schwabens 125 Vulkan-Embryonen, und: Vulkane und Spalten, in: Compte rendu de la Xème session du congrès géologique international. Mexico 1906.

[7]) Quarterly Journal of the Geolog. Society of London, 51. London 1896.

Früher hatte Branca auch die Diatremen in den Karoo von Südafrika als Zeugen gegen das Dogma von der Notwendigkeit einer präexistierenden Spalte bei vulkanischen Eruptionen herangezogen. Es sind dies zylindrische Röhren, die senkrecht in die Tiefe hinabsetzen, in die Hochebene der Karoo eingesprengt sind und sich in einem Gebiete finden, das sich vom Hart-River in Griqualand bis Fauresmith im Orange-Freistaat über Kimberley in einer Längserstreckung von 200 Kilometern ausdehnt. In der Füllmasse dieser Gebilde sind die Fundstellen für die südafrikanischen Diamanten.

Daubrée[1]), der bekannte Meister in der Experimentalgeologie, hat zu Anfang des letzten Jahrzehnts im verflossenen Jahrhundert experimentale Versuche über die geologische Rolle angestellt, welche unter hohem Druck befindliche Gasmassen möglicherweise zu spielen berufen sind, und dabei ähnliche Erscheinungen erzielt, wie die südafrikanischen Diatremen. Der geistreiche Franzose kommt dabei zu folgendem Schluß: Bei den tätigen Vulkanen finden die ausbrechenden Gase und Dämpfe einen verhältnismäßig leichten Ausweg; denn der schon früher geöffnete Schlot arbeitet etwa wie ein Sicherheitsventil, welches zur Vereitelung der durch Übermaß von Druck hervorgerufenen schlimmen Folgen dient. Bevor aber diese Öffnungen in der Erdfeste vorhanden waren, müssen die Druckverhältnisse, unter denen die Gase standen, eine für uns nicht mehr abschätzbare Größe erreicht haben. Die Tausende von Atmosphären betragenden Spannungen, welche wir mit unseren Explosivstoffen hervorzubringen vermögen, konnten bei den im Erdinnern eingeschlossenen Gasen um vieles überboten werden. Und dann ist dabei ja im Auge zu behalten, daß in den meisten Fällen das Wasser das explodierende Agens war, dessen überaus

[1]) Recherches expérimentales sur le rôle possible des gazes à hautes températures, donés de très-fortes pressions et animés d'un mouvement fort rapide, dans divers phénomènes géologiques. In: Bullet. d. l. Soc. géol. de France, III, 19. Paris 1981.

großartige Wirkungen in dieser Hinsicht bekannt und auch noch experimentell festgestellt worden sind.

Daraus aber dürfen wir logischerweise abstrahieren, daß den in der Gegenwart betätigten Äußerungen der vulkanischen Kraft andre und diesen an Gewalt und Macht bedeutend überlegenere vorangegangen sind. Auf die feinen Spalten und deren Kreuzungspunkte in der Erdfeste konzentrierten die hochgespannten gasigen Massen ihre Kraftwirkung und mußten hier den Durchbruch von Kanälen zur Herausbildung bringen. Es sind denn auch nach Daubrées Meinung die erwähnten diamantführenden Diatremen Südafrikas durch die heftige Explosion vulkanischer Gase hervorgerufene Erscheinungen.

Diese Ansicht ist von einem andern Franzosen, von Chaper[1]) sofort angegriffen und bestritten worden, der die vulkanische Entstehungsart der Diatremen leugnet, zu ihrer Erklärung allerdings aber auch gasige Substanzen, und zwar Kohlenwasserstoffgase von niedriger Temperatur heranzieht. Die Ausfüllungsmasse der Diatremen hat sich die Kanäle, auf welchen sie zur Oberfläche heraufgestiegen ist, selbst dadurch geschaffen, daß sie an Stellen von nur geringer Widerstandskraft innerhalb des überlagernden Gesteinssystems in dieses hineingepreßt worden ist, durch die treibende Gewalt eines von den eben erwähnten Gasen hervorgerufenen Drucks. Und zwar ist der ganze Vorgang nicht auf stürmische Art, und nicht durch eine einmalige Betätigung der drückenden Kraft, wie dies bei den vulkanischen Explosionen geschieht, sondern vielmehr durch eine Reihe solcher Wirkungen und unter ruhigen Verhältnissen erfolgt. „Aber selbst dann noch, wenn diese senkrecht die Erdrinde durchbohrenden Kanäle durch kalte, also nicht einem Schmelzherde entstammende Gase ausgeblasen sein sollten — sind sie immerhin doch noch ein Beweis dafür, daß explodierende Gase

[1]) Observations à propos d'une note de Monsieur Daubrée. In: Bullet. d. l. Soc. géol. de France, III, 19. Paris 1891.

die Kraft besitzen, sich selbsttätig zu befreien und ohne Zuhilfenahme von Spalten weite Kanäle durch die Erdrinde zu bohren.“ Das betonte Branca ausdrücklich — und mit vollem Rechte[1])!

Später[2]) hat dann Branca den Diatremen nicht mehr dieselbe Beweiskraft zugeschrieben, nachdem ihm der Geologe Transvaals, Professor Moolengraf, mitgeteilt hatte, daß dieselben allerdings nicht nachweisbar auf einer Spalte, immerhin doch aber in einer Linie gelegen seien. Aber der Berliner Geologe hebt doch auch bei diesem Anlaß hervor, „daß durch eine Anordnung weit voneinander entfernter Eruptionspunkte längs einer langen Linie, doch nicht im mindesten der Beweis gegeben ist, daß diese Ausbrüche lediglich dem Vorhandensein einer präexistierenden Spalte ihr Dasein verdanken. Solche isolierte Punkte können vielmehr sehr wohl nur auf Gasexplosionen zurückzuführen sein; und dafür spricht im vorliegenden Fall die Tuffnatur der Füllmasse dieser afrikanischen Röhren.“

Stübel[3]) hat die Abhängigkeit der Vulkanberge Südamerikas von präexistierenden Spalten sehr energisch geleugnet. Von einer reihenförmigen Anordnung derselben, so meint er, kann man höchstens in ganz allgemein topographischem, aber nicht in wissenschaftlich geogmetischem Sinne reden Es sind dieselben keineswegs zu einer ununterbrochenen Kette aneinandergereiht, sondern bilden einzelne Gruppen, welche größere und kleinere Lücken — Lücken bis zu vielen Breitengraden — zwischen sich lassen. Die Unkenntnis der wirklichen Zahl und Lage der tatsächlich vorhandenen Vulkanberge hat dazu geführt, daß die bekannten und in einer Karte kleinen Maßstabes von Südamerika eingezeichneten Vulkane eine lange und nur wenig unterbrochene

[1]) Nach den Ausführungen des Professors Gürich in Hamburg, früher in Breslau, sind jedoch die diamantführenden Schlote, die er aus eigenster Anschauung kennt, zweifellos vulkanischer Natur. Nach demselben Autor deutet aber ferner die Verbreitung der Diatremen auf einer Linie SSO.-NNW. auf tektonische Ursachen hin „als die erste Ursache der Spannungsauslösung.“

[2]) Vulkane und Spalten.

[3]) Die Vulkanberge von Ecuador u. a. a. O.

Reihe von etwa $^1/_8$ des Erdumfangs darstellen. Auf diese merkwürdige Wahrnehmung hin hat man nun nicht gezögert, eine Schlußfolgerung bezüglich des Wirkens der vulkanischen Kräfte zu gründen. Man nahm nämlich an, daß die Kordillere den Verlauf einer großen Erdspalte kennzeichne, welche die Verbindung mit dem Erdinnern vermittle, vielleicht auch dem Meerwasser den Zutritt in den vulkanischen Herd gestatte und so die Entstehung der Vulkanberge am einfachsten zu erklären vermöchte. Aber die Vorstellung, die Hypothese, daß sämtliche Vulkane von Südamerika, von Columbia im Norden bis nach Chile im Süden, über einen in der Erdschale entstandenen Riß aufgebaut seien, entbehrt der Begründung und kann mit den tatsächlichen Beobachtungen nicht in Einklang gebracht werden. „Ihr Wert liegt allein darin, daß sie uns einmal recht deutlich vor Augen führt, wie Hypothesen entstehen können, die jahrzehntelang in Lehrbüchern als geheiligte Überlieferungen fortleben, und durch deren Verallgemeinerung man der Wissenschaft einen besonderen Dienst zu erweisen glaubt, oder ihr doch mindestens den Anschein verleiht, als könne sie bereits mit großen, allseitig beglaubigten Zahlenwerten rechnen."

Es handelt sich, so glaubt Stübel ferner, bei den Vulkanen der südamerikanischen Westkordillere nicht sowohl um eine kettenartige Aneinanderreihung dieser Feuerberge, als vielmehr um eine Anzahl ausgedehnter Vulkangruppen, von denen jede einen oder mehrere lokalisierte Herde besitzt, ganz in der Art, wie dies seiner Meinung nach auch für vulkanische Inseln und Inselgruppen angenommen werden darf.

Diese eben geschilderten Verhältnisse an der Westküste Amerikas hat Branca immer als einen wichtigen Beweis für die Lehre von der Unabhängigkeit der Vulkane von präexistierenden Spalten gehalten. In neuester Zeit hat dieser Geologe nun eine Zusammenstellung derjenigen Areale auf der Erde gegeben, in denen sich seiner Ansicht nach vulkanische Massen den von der erwähnten Lehre verlangten Tatsachen gemäß verhalten, bezw.

verhalten sollen, bezw. zu verhalten scheinen[1]). Einige dieser Stellen auf unsrem Planeten haben wir bereits vorhin angeführt, hinsichtlich des weiteren müssen wir auf die Abhandlungen Brancas selbst verweisen, wollen aber hier nur noch kurz bemerken, daß auch Volz bezüglich der Vulkane von Sumatra zum Schluß gekommen ist, die Jungvulkane auf dieser Insel befänden sich zwar in Zertrümmerungsgebieten, seien aber unabhängig von präexistierenden Spalten und Brüchen, dagegen aber imstande, sich selbst längere oder kürzere Spalten zu schaffen[2]). Und Böse tritt ebenfalls für die Unabhängigkeit der Vulkane Mexikos von irgendwelchen schon vorher vorhanden gewesenen Spalten ein[3]).

Es sind im ganzen 26 größere und kleinere Gebiete, die Branca anführt, davon 4 große und 16 kleinere in Europa, 5 in Amerika und 1 in Asien. In allen denselben hat sich „der in der Tiefe liegende Schmelzherd selbständig zahlreiche Auswege, unabhängig von präexistierenden Spalten durch explodierende Gase geschlagen."

Einem dieser Gebiete dürfte Branca indessen größere Beweiskraft zugeschrieben haben, als dasselbe nach den Ausführungen seines Erforschers, Professor Hibsch in Tetschen a. E., besitzt[4]). Es ist dies das Böhmische Mittelgebirge. Hier hat der Ebengenannte neben Stellen langandauernder und heftiger, an Brüche gebundener Eruptionen noch viele Hunderte von kleineren Ausbruchsstellen nachweisen können, welche scheinbar an gänzlich ungestörten Stellen die sedimentäre Unterlage durchbrechen. Aber diese Tatsachen sollen nach Hibsch durchaus keine Beweise dafür sein, daß diese Ausbrüche gänzlich unabhängig vom

[1]) Vulkane und Spalten, und: Widerlegung mehrfacher Einwürfe gegen die von mir vertretene Auffassung in der Spaltenfrage der Vulkane, in: Centralblatt für Mineralogie usw., 1909, No. 4 u. 5.

[2]) Sitzungsberichte der k. preuß. Akademie der Wissenschaften, Mathemat.-phys. Klasse, Februar 1907.

[3]) Sobre la independencia de los volcanes de grietas preexistentes. In: Memorias de la Sociedad „Alzate" de Mexico, 14., Mexico 1899.

[4]) Bemerkungen zur Frage der Abhängigkeit vulkanischer Ausbrüche von vorhandenen Spalten. In: Centralblatt für Mineralogie usw., 1909, No. 17.

tektonischen Aufbau der Erdkruste erfolgten; denn sie fanden an den Stellen des geringsten Widerstandes an der unteren Seite der festen Erdkruste statt. Und das sind die Fugen im untersten Teil des Grundgebirges, die, wenn sie älteren Datums sind, von den jüngeren Oberflächensedimenten derart bedeckt sein können, „daß sie ebensowenig in die Erscheinung treten wie die Fugen einer Mauer von Bruchsteinen, sobald diese mit einer Mörtelschicht verputzt ist."

Eine weitere für die Spaltenfrage der Vulkane sehr interessante und instruktive Beobachtung hat Hans Beck im Sommer 1908 auf Island gemacht. Dort steht fast am Ostrande des nahezu horizontalen großen Lavafeldes des Ódádarhaun ein Horst eines schmalen nord-süd verlaufenden Gebirgszuges aus Palagonittuff, die Herdubreid, die sich mit senkrechten Bruchwänden als kastenartiges, viereckiges Gebilde etwa 1200 Meter hoch über den Ódádarhaun erhebt, und auf der ein typischer Schildvulkan aufsitzt, dessen Eruptionsröhre dank dieser Verhältnisse vom Krater an durch die Lavawand und den Sockel von Palagonittuff hindurch auf 3—400 Meter unter die Basis des Vulkans hinabverfolgt werden kann[1]).

Branca hat übrigens die Möglichkeit, daß ein gewisser Teil der Vulkane von Spalten abhängig sein möge, nie in Abrede gestellt, hat aber einmal in sehr geschickter Weise den Spieß umgedreht und die Frage aufgeworfen, ob denn eine bei einem Vulkan festgestellte Spalte wirklich auch schon vor dessen Entstehung vorhanden gewesen und ob sie nicht gar erst nach dessen Aufschüttung gebildet worden sei? Könnte sie doch immerhin erst im Verlaufe der vulkanischen Tätigkeit an der betreffenden Stelle zustande gekommen sein, so daß aus der vermeintlichen Ursache die Wirkung würde, oder gar noch später[2]).

---

[1]) Ein Beitrag zur Spaltenfrage der Vulkane. In: Centralblatt für Mineralogie usw., 1910, No. 6.

[2]) Neben den bereits schon zitierten Arbeiten von Branca siehe noch folgende: Über die Entstehung der vulkanischen Durchbohrungskanäle im Gebiete

Eine Anschauung, die, wie wir vorhin gesehen haben, Volz bei seinen Studien an den Vulkanen Sumatras bestätigen konnte!

Zwei deutsche Gelehrte, Felix und Lenk[1]), waren gelegentlich einer wissenschaftlichen Reise, welche sie in den Jahren 1887 und 1888 nach Mexiko unternommen hatten, bereits zur Überzeugung gekommen, daß es auch in diesem vulkanbestandenen Lande Feuerberge gebe, welche nicht an eine Bruchlinie gebunden sind, solche, die weder eine gesetzmäßige Anordnung in bezug auf die Hauptspalte, noch irgend ein Verteilungsprinzip untereinander erkennen lassen, d. h. nicht auf Linearspalten stehen. Ein derartiger Vulkan ist beispielsweise der gewaltige isolierte Kegel des Malinche. In dem so ungeheuer vulkanreichen Zentralmexiko haben sich neben den über tektonischen Linien bezw. Spalten emporgetürmten Vulkanen auch solche gebildet, deren Lage nicht mit Dislokationen in Beziehung gebracht werden kann, die vielmehr regellos zerstreut auf dem Hochplateau, wenn auch besonders häufig in den der Transversalspalte benachbarten Teilen desselben hervorgebrochen sind.

Nun ist es nach Felix und Lenk durchaus nicht nötig, daß eine jede Spalte innerhalb der festen Erdrinde, die vulkanischen Massen als Ausweg dient, auch wirklich mit einer Dislokation, mit einer Verwerfung verbunden sein muß, wenn dies auch sehr häufig der Fall ist. Also auch dann, wenn in dem Areal, auf welchem der Feuerberg sich aufgebaut hat, keine derartige Verwerfung gefunden werden sollte, auch dann kann sich dennoch ein vulkanischer Gebirgszug, wie der vom Popocatepetl, Ixtaccihuatl,

---

von Urach. In: Jahreshefte des Vereins für vaterl. Naturkunde in Württemberg, 1897, Stuttgart 1897.

Neue Beweise für die Unabhängigkeit der Vulkane von präexistierenden Spalten. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., 1898, I.

Zur Spaltenfrage der Vulkane. In: Sitzungsbericht d. k. preuß. Akademie der Wissenschaften, Mathemat.-physik. Klasse, Bd. 36, Berlin 1903.

Die Gries-Breccien des Vorrieses als von Spalten unabhängige früheste Stadien embryonaler Vulkanbildung. Ibid., Bd. 36, Berlin 1903.

[1]) Bemerkungen zur Topographie und Geologie von Mexiko. In: Zeitschrift der Deutschen geolog. Gesellschaft, 54, Berlin, 1892.

Telapon, Tlamacas usw. gebildete über einer Spalte erheben. Bei Vulkanen von so riesigen Dimensionen, und deren Basis Quadratmeilen überdeckt, dürfte die unmittelbare Beobachtung und der einwandfreie Nachweis von Verwerfungen übrigens nur in den seltensten Fällen gelingen.

Immerhin glaubten die Genannten bei ihren an den Vulkanen von Mexiko gemachten Studien als Regel bestätigen zu können, daß der Schauplatz der intensiven vulkanischen Tätigkeit in der Regel dort stattgefunden hat, wo sich verschiedene Spaltensysteme kreuzten[1]).

Einer der ersten, welcher sich gegen die Ausblasungstheorie, wie wir die Brancasche Lehre nach dem Vorgange von Felix und Lenk von nun ab nennen wollen, gewendet haben, war der durch seine schönen Darstellungen der Vulkane auf den Äolischen Inseln wohlbekannte Geologe Bergeat[2]). In seiner Abhandlung über dieses Thema berührt er naturgemäß auch die Frage vom Vorhandensein oder nicht Vorhandensein vulkanischer Spalten und hat bei diesem Anlaß auch den sehr bemerkenswerten Satz ausgesprochen: „Wenn wir uns nicht selbst täuschen sollen, müssen wir zugeben, daß auf keinem Felde der Geologie bisher so geringe Fortschritte gemacht worden sind wie in der Erkenntnis dessen, was weiter als etwa zwei Kilometer unter unsren Füßen liegt." Worte, die jeder unterschreiben muß, der es mit der geologischen Wissenschaft ehrlich meint, ein Bekenntnis, das, wenn es zuweilen besser beherzigt würde, viel dazu bei-

[1]) Neuerdings hat sich J. G. Aguilera, Direktor des geologischen Nationalinstituts zu Mexiko, der schon früher die Auffassung von Felix und Lenk bestritten hatte, wiederum energisch gegen dieselbe ausgesprochen und an der Ansicht festgehalten, daß wohl da und dort ein Zusammenhang der mexikanischen Vulkane mit Spalten möglich sei, daß es aber auch andere dort gebe, die sich ihren röhrenförmigen Kanal selbst geschaffen hätten und von Spalten ganz unabhängig seien. (Les Volcans du Mexique dans leurs relations avec le relief et la tectonique générale du pays. In: Compte rendu de la Xème session du congrès géologique international, Mexico 1906. Mexico 1907.

[2]) Die Äolischen Inseln. In: Abhandlgn. der k. bayr. Akad. der Wissenschaften, II. Kl., 20. 1. München 1899.

tragen könnte, den Kirchhof im Buche der Geologie, unter dessen Kreuzen ihre vielen toten und totgeborenen Hypothesen den wohlverdienten Schlaf schlummern, wesentlich zu verkleinern.

Zuerst hebt Bergeat hervor, daß bis heute keiner der Gegner der Spaltentheorie das öftere Gebundensein der Vulkane an tektonische Störungsgebiete geleugnet hat, und daß die Beziehungen zwischen diesen (in der Gestalt von Schollenverschiebungen, Aufstau von Faltengebirgen usw.) und dem Hervortreten des Magmas unbestreitbare sind, daß beide zueinander in genetische Abhängigkeit gebracht werden müssen und seit langer Zeit gebracht werden. Denn der Beweis eines solchen Zusammenhangs ist in vielen Gegenden tatsächlich erbracht worden, in andren wiederum freilich gelang es nicht, solche an der Erdoberfläche sichtbaren Beziehungen zu konstatieren.

Nun ist es, so fährt Bergeat fort, ja eigentlich auch gar nicht notwendig, daß alle in der Erdfeste aufklaffenden Spalten und Risse sich bis zur Oberfläche hin verfolgen lassen. Mit andren Worten: es können Spalten vorhanden sein, die nicht bis zur Oberfläche reichen, leiten wir doch unsre Vorstellungen über den Bau der vielen Kilometer dicken Erdkruste von unsren immerhin nur dürftigen, bis zu 2000 Meter Tiefe reichenden Kenntnissen ab! Aber schon die Grubenprofile mancher genauer bekannten Kohlengruben sollten uns darüber belehren, daß die Tektonik der Tiefe eine sehr komplizierte sein kann. Und der Beweis, daß jede von der Tiefe her aufgerissene Kluft auch wirklich bis zur Oberfläche reicht, dürfte schwer zu führen sein.

„Lassen wir", sagt der große österreichische Geologe Süß einmal, „einen Beobachter zur näheren Betrachtung der Schichtstellung in den einzelnen Gebirgsketten seinen Fuß auf den grünen Rasen unsrer Erde setzen. Er wandert über Berg und Tal, aber er sieht nur gar wenig von den gewaltigen Bewegungen, an welchen viele Teile der Erdoberfläche teilgenommen haben. Die Höhen sind abgewittert und abgewaschen, die Niederungen verschlämmt und versandet. Große Gebirgszüge sind nieder-

gehobelt zu Hügelland oder gar zu Platten, Bruchflächen, an welchen sich Verschiebungen von Gebirgsschollen gegeneinander im Ausmaße von vielen Tausenden von Fußen vollzogen haben, sind dem Auge so vollständig entzogen, daß sie nur zufällig durch unterirdische Arbeiten überhaupt bekannt werden. Die Verwerfung im Tunnel von Fuveau bei Marseille, welche etwa 1200 Meter beträgt und den Muschelkalk mit viel jüngeren Schichten in Berührung bringt, ist zu Tage gar nicht bekannt gewesen[1])."

Was ist denn aber unter einer solchen Spalte zu verstehen? Jedenfalls kein gewaltiger Riß in der Erdrinde, der offen ist und bis in die großen Tiefen hinabreicht, welche Magma eingekerkert hält! Darum werden alle Geologen mit Stübel übereinstimmen, wenn dieser bestreitet, „daß sich längs der südamerikanischen Küste eine einzige, ununterbrochene, klaffende Vulkanspalte von etwa 6000 Kilometer Länge hinzieht, daß in dieselbe das Meerwasser eindringen und die vulkanischen Eruptionen bewirken soll." Nach deutschem Sprachgebrauch verbindet sich mit dem Ausdruck „Spalte" notwendigerweise die Vorstellung einer linearen, klaffenden Öffnung, sagen Felix und Lenk. Aus diesem Grunde dürfte es richtiger sein, diese Bezeichnung nur dann zu gebrauchen, wenn dieselbe auch in dem besagten Sinne angewandt werden kann, so etwa da, wo es sich um Spalten handelt, die bei Erdbeben aufgerissen wurden, Erscheinungen, die das Aufklaffen meist in prägnantester Weise erkennen lassen. Da jedoch, wo ein derartiges Auseinandertreten der Ränder am Risse nicht beobachtet werden kann, dürften die Ausdrücke Bruchlinie, tektonische Linie, Sutur besser am Platze sein. „Dabei ist das gleichzeitige Vorhandensein von Verwerfungen keineswegs notwendig, wenngleich dieses Phänomen allerdings

[1]) Weitere Beispiele dieser Art führt Süß in dem erst kürzlich erschienenen Schlußbande seines Standardbuches „Das Antlitz der Erde" an. (Wien-Leipzig 1909, III, 2, Seite 655ff.

in den häufigsten Fällen mit Brüchen verknüpft ist, ja diese im allgemeinen erst deutlich in Erscheinung treten läßt[1])."

Bereits Löwl hat, wie wir weiter oben gesehen haben, darauf aufmerksam gemacht, daß vulkanische Ergüsse sich sehr oft nicht auf der eigentlichen Bruchlinie betätigt haben, sondern in der Nähe derselben auftreten. Wir erinnern an das von dem Genannten hierfür angezogene Beispiel vom Vorkommen der Basaltdecken am südlichen Steilabsturze des Erzgebirges. Auch Bergeat kommt auf diese Tatsachen zurück und hat sich gefragt: „Warum ruhen so häufig längs ausgesprochener Bruchlinien die Vulkane nicht dem Hauptverwerfer (also der Bruchlinie selbst) auf, sondern sind sie dem eigentlichen Bruchrand vorgeschoben?" „Spalten, auf denen große Verschiebungen stattgefunden haben," das ist seine Antwort auf das Problem, „und die erst durch die Auslösung solcher Spannungen entstanden, welche nur durch Brüche gehoben werden konnten, dürften überhaupt nur selten weit offen gestanden haben; der Druck der gegeneinandergepreßten Schollen hat sie gleich nach ihrem Aufklaffen geschlossen gehalten." Daher denn auch die Hauptbruchlinie nur wenig Bedeutung für die Magmaförderung gehabt haben kann, während durch jeden mächtigen Spannungsausgleich in der Erdkruste die der Bruchlinie zunächst befindlichen Teile derselben, die benachbarten Schollen, einer Zerrüttung unterliegen mußten. Diese hatte das Aufreißen einer Anzahl mehr oder weniger im gleichen Sinne wie die Hauptbruchlinie verlaufender Klüfte zur Folge, deren Hinaufreichen an die Oberfläche durchaus kein absolutes Erfordernis ist, die sogar lange Zeit offen stehen und sich auch noch ruckweise erweitern können. Einen Beweis für diese Anschauung findet Bergeat in den Erzgängen; das sind derartige klaffende Risse, also Spalten im Sinne von Felix und Lenk, und auch die unzweifelhaften Anzeichen für eine nachfolgende allmähliche Erweiterung dieser Spalten sind vorhanden, die

[1]) Cf. darüber auch: Bergeat, A. Stübels Untersuchungen über die Eruptionszentren in Südamerika. In: Centralblatt für Mineralogie usw., 1902, No. 23.

Kokarden- und Breccienstruktur vieler dieser Erscheinungen. „Jedem, der nicht auf seiten der Lateralsekretionstheorie steht, bieten diese bis in große Tiefen verfolgte Spalten den Beweis, daß der Gebirgsdruck durchaus nicht die Spalten zu schließen braucht, wie Löwl und andere angenommen haben." Wir würden zu diesen soeben vorgetragenen Worten von Bergeat unsrerseits noch hinzufügen: Jeder, der die Lateralsekretion nicht für die einzig und allein mögliche Ursache der Erzgängeentstehung hält, wird dieser Meinung sein, zumal zweifellos sehr viele Erzgänge mit dem Vulkanismus in verwandtem Zusammenhange stehen. Auch sie liegen viefach nachweisbar in Zerrüttungszonen und parallel zu den Hauptbruchlinien, und nur in seltenen Fällen auf diesen letzteren selbst.

Die von Feuerbergen bestandenen Küstenstriche des Pazific, die klassischen Gebiete des Vulkanismus, sind weit ins Land hineinreichende Zerrüttungszonen. Junge Faltengebirge fassen den Stillen Ozean ein, sind also Gebiete der Zusammenpressung, während die atlantischen und indischen Ränder von abgebrochenen Schollen begleitet werden, demnach Areale sind, in denen sich Zerrung geltend gemacht hat. In diesen machen Westindien und Hinterindien eine Ausnahme im pazifischen Sinne und sind, wie der pazifische Rand, durch lange Vulkanreihen ausgezeichnet. „Der pazifische Randtypus aber fördert den Vulkanismus, der atlantische hemmt ihn," wie das neuerdings von Supan[1]) betont worden ist.

Auch Südamerikas Vulkane treten auf einer Zerrüttungszone auf, die sich längs der pazifischen Küstenlinie dieses Kontinents gebildet hat, und es wird kaum jemand behaupten wollen, daß diese Feuerberge oder auch die an dem asiatischen Gestade des Stillen Ozeans sich hinziehenden einer in diesen Gegenden verlaufenden Spalte aufsitzen. Wenn man von südamerikanischen oder von mexikanischen „Vukanspalten" gesprochen hat, so hat man darunter die Summe einer Unzahl

[1]) Grundzüge der physischen Erdkunde, 3. Aufl., Leipzig 1903.

unter sich mehr oder weniger im gleichmäßigen Sinne die Erdrinde zerreißender tektonischer oder Bruchlinien verstanden, „die alle, gerade so, wie z. B. die bolivianischen Erzgänge, einer wichtigen durch den Verlauf der amerikanischen Westküste gekennzeichneten Störungslinie gleichlaufen.“ Es ist unmöglich, den Zusammenhang zwischen den gewaltigen Feuerschlünden, die das weite Becken des Stillen Ozeans umsäumen, und dieser, ein großes Senkungsgebiet darstellenden ozeanischen Depression auf unserm Planeten nicht gelten lassen zu wollen. Legt man bezüglich der in der Gegenwart tätigen Vulkane die Berechnungen von Fuchs zugrunde, so würden zurzeit 325 Feuerberge aktiv sein, eine Zahl, die aber eher viel zu niedrig, als zu hoch angesetzt ist. Von diesen 325 feuerspeienden Bergen kommen allein 240 auf das Gebiet des Stillen Ozeans, und zwar 102 auf den asiatischen und 113 auf den amerikanischen Erdteil, während weitere 25 im Pazific selbst vorhanden sind. Mit vollem Recht durfte deshalb Supan in neuerer Zeit wiederum ausdrücklich hervorheben, „daß die pazifische Welt in der Gegenwart der Hauptsitz der vulkanischen Tätigkeit ist.“

Geotektonische Störungen lassen sich nicht immer ganz leicht nachweisen, und auch da, wo solche im Bau der Erdoberfläche deutlich zutage treten und nicht etwa nicht bis zur Erdoberfläche reichen, ist es bisweilen recht schwer und eine mühsame Aufgabe, deren Verlauf festzustellen. In den ungeheuren Gebieten von Südamerika, die für unsre Ausführungen in Betracht kommen, sind nun bisher geologische Detailforschungen — und nur derartige genaue Arbeiten setzen uns in die Lage, einen Einblick in den tektonischen Aufbau eines bestimmten Areals tun und die nötigen Schlüsse daraus ziehen zu können — überhaupt nicht oder nur in so geringem Umfang vorgenommen worden, daß wir nicht berechtigt sind, über die zwischen den dortigen Vulkanen und der Tektonik ihres Untergrundes bestehenden oder vielleicht auch nicht bestehenden Zusammenhänge ein definitives Urteil abzugeben. Jedenfalls keines, das Folge-

rungen von so weittragender Wichtigkeit und Bedeutung für eine der Kardinalfragen der dynamischen Geologie nach sich ziehen müßte, wie von Stübels seiten geschehen. „Weite Strecken sind dort von älteren vulkanischen Massen bedeckt, deren Ursprungsort man nicht einmal genau kennt, die aber sicherlich auch die Tektonik des Untergrundes weithin unsichtbar gemacht haben," sagt Bergeat in einer gegen diese Stübelsche Anschauung gerichteten Streitschrift, und seinen ferneren Worten: „Nach meiner Ansicht können also die südamerikanischen Vulkangebiete vorläufig für die exakte Lösung der Frage nach den Ursachen der Vulkanverteilung gar nicht in Betracht kommen," können wir unsre Zustimmung nicht vorenthalten[1]).

In der Gegenwart steht nun die Streitfrage so, daß, um mit Brancas eignen Worten zu reden, „für eine ganze Anzahl vulkanischer Stätten, und zwar teils größerer Gebiete, teils kleinerer, ja zum Teil selbst ganz vereinzelter Vorkommen, bereits jetzt, obgleich diese Frage erst seit kurzer Zeit zur Diskusion gelangt ist, von einer Anzahl von Forschern mit mehr oder weniger Sicherheit behauptet, bezüglich nachgewiesen worden ist, daß diese Vorkommen unabhängig von präexistierenden Spalten entstanden sind.

Daß die Eruptionen in diesen Fällen lediglich durch explodierende Gase ermöglicht sein müssen, welche die erforderlichen Röhren durch die Erdrinde hindurchschlagen, wird zweifellos dadurch bewiesen, daß die Röhren mit den Produkten ihrer Explosionen, mit Tuffbreccie erfüllt sind, bestehend aus zerschmettertem Schmelzflusse und den zerschmetterten Gesteinen, welche von der Röhre durchsetzt werden. In allen diesen Fällen kann also an der Kraft der Gase, solche Röhren hindurchzuschlagen, gar nicht gezweifelt werden.

Bis in welche Tiefen hinab die brecciöse Füllmasse der Röhren geht, ob sie etwa in einer gar nicht großen Tiefe schon durch kompaktes Eruptiongestein ersetzt wird, läßt sich nicht

[1]) A. Stübels Untersuchungen über die Eruptionszentren in Südamerika. In: Centralblatt für Mineralogie a. d. J. 1902, No. 23.

feststellen. Ein Mehr oder Weniger würde auch an jenen Tatsachen nichts ändern; denn nachdem die Röhre einmal durch die Erdrinde. hindurchgeschlagen ist, kann natürlich schließlich die ganze lose, aus Tuffbreccie bestehende Füllmasse durch empordrängendes kompaktes Eruptionsgestein hinausgeschoben und ersetzt werden.

Auf solche Weise aber ist durchaus nicht einzusehen, warum nicht außer den bereits genannten Stätten auch noch zahlreiche andre in ganz derselben Weise entstanden sein sollten, und warum nicht neben kleinen Vulkanembryonen auch große Vulkanberge in derselben Weise ihren Anfang genommen haben sollten, aber in Form von tufferfüllten Röhren und unabhängig von Spalten. Mit andern Worten, es ist nicht einzusehen, warum nicht auch unter vielen großen Vulkanbergen ein solches ehemaliges Maar, eine Explosionsröhre, ein Vulkan-Embryo begraben liegen sollte[1]).“

Gegen diese Anschauung wird sich nichts einwenden lassen, und die allergrößte Mehrzahl der Geologen hat dieselbe wohl zweifellos auch zu der ihrigen gemacht. Von Gegnern der Ausblasungslehre wird man also nur insofern reden können, als es sich um eine Verallgemeinerung dieser Lehre handelt. Denn daß das Magma, oder sagen wir lieber, daß in erster Linie die aus den Fesseln der glutigen Materie sich befreienden Gase imstande sind, sich ihren Weg bis zur Erdoberfläche, soweit dies unsrer Beobachtung zugänglich ist, aus den Gesteinsmassen, die ihnen dabei hinderlich sind, selbst herauszublasen, sich also ihre Ausbruchskanäle ganz selbttätig zu schaffen, das wird eigentlich nicht mehr bestritten. Das scheint eine Tatsache zu sein, in deren Feststellung allein schon ein großes wissenschaftliches Verdienst von Branca und Geikie besteht. Inwieweit hier feine Haarspalten, der Beobachtung sich entziehende Zerklüftungserscheinungen der durchschossenen Gesteine und andre ähnliche

[1]) Vulkane und Spalten.

Dinge dem empordringenden Magma und seinen gasförmigen Bestandteilen zu Hilfe kommen, kann, weil nicht bekannt, wenn es vielleicht zuweilen auch wohl vermutet werden darf, dabei nicht in Anschlag gebracht werden. Von einem Gegner der verallgemeinerten Ausblasungslehre, von Bergeat, ist gar der Versuch gemacht worden, eine Erklärung für die durchschlagende und ausblasende Gewalt der hervorbrechenden Gase da, wo diese tatsächlich auch ihre Röhren aus dem Gestein herausgeschossen haben, zu finden und damit auch über die von Branca selbst zugestandenen Schwierigkeiten hinwegzuhelfen. Wir könnten uns, meint der Erforscher der Äolischen Inseln, vielleicht vorstellen, daß das Magma, vom Uranfang der Erde an beladen mit Gasen, welche es während der Kondensation des Dampfballs absorbierte, in den verhältnismäßig engen Spalten sich abkühlte, zu irgendeinem Tiefengestein erstarrte, während die sich abscheidenden Gase mehr und mehr in den durch die Kristallisation und Kontraktion entstehenden Hohlräumen zu höchster Spannung komprimiert wurden. Rechnerisch läßt sich der Vorgang nicht verfolgen, da bisher noch keine Kenntnis über die Menge des im Magma gelösten Gases vorliegen.

Die Tatsachen ferner, daß für eine große Anzahl von Feuerbergen auf unserm Planeten ein Zusammenhang mit tektonischen Ursachen nach unserm gegenwärtigen Stand des Wissens außer aller Frage ist, erweckt starke und unüberwindliche Bedenken gegen jede Verallgemeinerung der Ausblasungslehre. Die schönen und geistvollen Untersuchungen Bergeats auf den Liparen lassen wohl kaum einen Zweifel darüber aufkommen, daß die Äolischen Vulkane über einem System von Spalten liegen, „gleichgültig, ob dieselben nach oben geöffnet oder geschlossen sind," über einer Zerrüttungszone von dreistrahliger Gestalt, und daß die Vulkanbildung an den Kreuzungspunkten der Zerrüttungslinien am stärksten aufgetreten ist, daß ferner ein Konnex dieser zerrütteten Zone mit der Tektonik des benachbarten italienischen und des nordafrikanischen Gebirgszuges

vorhanden ist. Und „mindestens der Ätna, wenn nicht auch der Vesuv, dürften genetisch zu den Liparen in engster Beziehung stehen.“ Und das, was Bergeat für die Äolischsn Inseln nachzuweisen vermochte, das ist von andern Gelehrten, und in nicht weniger überzeugender Weise in weitern Gebieten unsrer Erde dargetan worden. Es ginge hier zuweit, diese Tatsachen alle einzeln anzuführen, und wir müssen uns auf einige wenige Beispiele dafür beschränken, so auf die Forschungen von Sapper in Zentralamerika, auf Haradas Studien an den Vulkanen seiner Heimat Japan usf. „Der Vulkanismus ist eine Folgeerscheinung der Gebirgsbildung,“ das hat der bekannte Geograph Ratzel vor einigen Jahren ausdrücklich betont. „Wo bei der Aufrichtung der Faltengebirge der Zusammenhang des Erdbaues gelockert oder zerrissen wurde, sind Glutmassen emporgestiegen und ausgetreten.“ Und ein andrer, Supan, hat sich dahin geäußert, daß wenn wir auch darauf verzichten wollen, Vulkane durch hypothetische Spalten miteinander zu verbinden, ohne übrigens deren Möglichkeit zu bestreiten, die Tatsache der eigentümlichen geographischen Verbreitung der Feuerberge dennoch bestehen bleibt und eine Erklärung fordert. Diese finden wir darin, daß das Magma dort aufsteigt, wo es den geringsten Widerstand findet, in der Regel also dort, wo durch Dislokation das Gefüge der Erdkruste zerrüttet ist. In Arealen, deren Schichten niemals gestört worden sind, wie beispielsweise die weite russische Ebene, oder da, wo, wie an den arktischen Küsten, junge Tiefländer allmählich in das Meer verlaufen, da fehlen die Vulkane. Ebenso sind sie in älteren dislozierten Gebieten, in welchen die in ihrem Felsgerüst vormals aufgerissenen Wunden meist schon vernarbt sind, seltener.

Branca selbst wendet sich übrigens gegen eine derartige Verallgemeinerung seiner Lehre auf alle Stätten des Vulkanismus, die ihm nicht zulässig erscheint, „denn wir kennen ja tatsächlich Spaltenergüsse, aber Orte, an denen der Schmelzfluß eine präexistierende Spalte benutzt hat.“ Es kann sich aber hierbei,

das ist Brancas Meinung, nur um klaffende Spalten handeln, denn wenn die Sache so liegt, wie beispielsweise bei einem stark zusammengeschobenen Faltengebirge, wo zwar eine Anzahl von bis an die Tagesfläche hinaufsitzenden Brüchen vorhanden ist, diese jedoch durch den Seitendruck so fest zusammengepresst wurden, daß ihr Vorhandensein für das Zustandekommen von Eruptionen entweder völlig oder fast ganz gleichgültig sein mußte, ist es genau so, wie wenn man sich in einem fensterlosen Raume befände, dessen Türe fest vermauert ist. Will man aus diesem wieder hinausgelangen, so kann man das nur tun, indem man sich mit der Spitzhacke einen Weg durchbricht; man muß sich also selbst befreien. Im vorerwähnten Falle haben sich die explodierenden Gase also auch einen Ausweg selbst schaffen müssen. „Ist es da nicht unrichtig", fügt Branca hinzu, „sagen zu wollen, das Magma habe hier lediglich infolge des Vorhandenseins von Spalten zur Eruption gelangen können? Hat nicht das Magma sich selbst befreit, auch wenn es auf offenen Spalten im Untergrunde aufgestiegen wäre?[1])

Und auch der schon früher von uns angezogene Ausspruch wird von Branca immer wieder betont, nämlich, daß es keineswegs richtig sei, überall da, wo Vulkan und Spalte in Verbindung miteinander auftreten, den ersteren für die jüngere, die letztere für die ältere Bildung anzusehen. Denn es kann theoretisch eine Spalte sehr wohl jünger sein, als der Vulkan, auch wenn sie dessen Gebiet durchsetzt. Bei tertiären oder Feuerbergen der Gegenwart sogar wäre dieser Fall möglich, weil auch in der Jetztzeit noch Spalten entstehen und solche in der Tertiärperiode sicherlich entstanden sind, bei solchen von höherem geologischen Alter aber muß eine solche Möglichkeit noch sehr an Wahrscheinlichkeit gewinnen. Wenn die Lehre von der fortdauernden Kontraktion unseres Erdballs ihre Herrschaft bewahren sollte,

---

[1]) Widerlegung mehrfacher Einwürfe usw.

dann wird vollends bei vielen Vulkanen die Unabhängigkeit von präexistierenden Spalten erkannt werden, weil eine aufgerissene Spalte bei dem starken, im Kugelgewölbe der Erdrinde vorhandenen Seitendruck nicht offen bleiben kann, und weil die Gesteine in größeren Tiefen durch die zunehmende Erdwärme erweicht sein müssen. Nur da, wo Spalten durch Auseinanderzerrung aufreißen, wo also das Gegenteil von Seitendruck herrscht, sind offen bleibende, dem Magma den Austritt gestattende Klüfte möglich.

Mit unseren Ansichten vom Vorhandensein eines gewaltigen Gewölbedrucks in der Erdfeste verträgt sich also die Annahme offener Spalten in den Tiefen der Erdrinde nicht, es sei denn, daß Zusammenpressung und Zerrung zwei zeitlich verschiedene und miteinander abwechselnde Vorgänge wären, wie das Rothpletz darzutun versucht hat[1]). „Und wenn gar die Lehre richtig sein sollte, die allerdings, weil noch nicht erwiesen, mit Reserve aufzunehmen ist, daß alle Gesteine, auch die Silikatgesteine, in gar nicht so großer Tiefe unter dem Druck der auflastenden Schichten latent plastisch werden, dann würde sogar in relativ geringer Tiefe ein Offenbleiben von Spalten unmöglich sein“[2]). Es ist übrigens, sagt Branca ferner, ein großer Unterschied, ob man sagt: die Vulkane liegen auf Spalten, seien also in ihrer Entstehung abhängig von diesen letzteren gewesen, als ob man behauptet: die Entstehung sei bedingt durch die Tektonik der Erdrinde. Dieser Satz klingt viel neutraler, denn er schließt keineswegs die Notwendigkeit in sich ein, dass die Entstehung der Vulkane stets durch Spalten bedingt werde[3]).

„Sie kann ja dadurch bedingt sein, daß unter solchen tektonischen Linien, wie z. B. das Anden-Felsengebirge, der

[1]) Über die Möglichkeit, den Gegensatz zwischen der Kontraktions- und Expansionstheorie aufzuheben. In: Sitzungsbericht der k. bayer. Akademie der Wissenschaften. Mathemat.-physik. Klasse, Bd. 32, München, 1902.

[2]) Widerlegung mehrfacher Einwürfe, usw.

[3]) Loc. cit. u. Vulkane und Spalten.

Schmelzfluß in ein hohes Niveau gelangte, aufgepresst durch das Gewicht der absinkenden Scholle des Stillen Ozeans, und zwar auf Röhren, die durch aufschmelzende und explodierende Gase entstanden wären."

Bereits weiter oben wurde ausgeführt, daß Bergeat und Anders Gegner der verallgemeinerten Ausblasungslehre einer derartigen Auffassung der Dinge huldigen, indem sie unter dem Begriff „Spalte" in dieser Angelegenheit keinen in der Erdfeste autklaffenden Riss, wohl aber eine tektonische Linie, eine Zerrüttungszone verstanden wissen wollen. Und so kann man denn an den ebenerwähnten Ausspruch Brancas die Hoffnung knüpfen, daß eine Verständigung der gegnerischen Ansichten doch noch im Bereich der Möglichkeit liegen dürfte[1]). Ob es isostatische oder Kontraktionsbewegungen sind, welche eine derartige aus schweren Massen bestehende absinkende Scholle der Erdkruste nieder- und dafür eine andere, aus leichterem Material gefügte, hochtreiben, „offenbar ist es eben eine Dislokation, welche den Anstoß zum Emporquellen des Magmas gibt" (Lenk).

Die Anhänger der vulkanischen Spaltenlehre (oder vielleicht besser gesagt, der tektonischen Vulkanlehre) haben — auch das ist bereits erwähnt worden — ferner die Behauptung aufgestellt, es sei durchaus nicht immer nötig, daß die betreffenden Dislokationen, welche die glutigen Massen zu ihrem Aufstieg benutzt hätten, auch an der Erdoberfläche bemerkbar seien; die Möglichkeit, daß solche den oberflächlichen Schichten fehlen, wohl aber im Untergrunde vorhanden seien, könne durchaus nicht geleugnet werden. Es käme dabei vielmehr auf die Lagerungsverhältnisse dieser letzteren, als auf diejenigen der Deckschichten an, und grade dieser Umstand müsse bei der Beurteilung desjenigen Areals besonders gewürdigt werden, das in Deutschland zuerst als das klassische Beispiel für die

[1]) H. Lenk, Bemerkungen zu Brancas „Widerlegung". In: Centralblatt für Mineralogie, usf., 1909, No. 11.

Unabhängigkeit vulkanischer Durchbrüche von Dislokationen hingestellt worden sei, des Gebietes von Urach. Denn die Möglichkeit dafür, daß hier die erst in neuerer Zeit genauer bekannt gewordenen Dislokationen im permotriassischen Grundgebirge Schwabens sich unter der von den Maarröhren durchsetzten Juratafel fortsetzen könnten, liege vor[1]). Und auch eine Anzahl andrer Gebiete, die Branca als Beweise für seine Lehre angezogen habe, wie Südschottland, die Rhön, Hessen, usf. seien im allgemeinen nicht zu den ungestörten Gebieten zu rechnen. „Wenn ich mich", sagt Lenk, „um bei dem von Branca gewählten (und von uns bereits weiter oben ebenfalls eingezogenen) Bilde zu verbleiben, aus einem fensterlosen, vermauerten Keller befreien will, so werde ich mit dieser Arbeit an den Stellen der Mauer beginnen, die mir ob ihrer mürben Beschaffenheit den geringsten Widerstand entgegensetzen. Von der Dicke einer eventuell vorhandenen intakten Außenschicht (von der ich bei Beginn meiner Arbeit nichts weiß!) wird es abhängen, wie weit ich mit meiner Selbstbefreiung komme, bezw. ob ich vollen Erfolg dabei habe. So und nicht anders liegt meines Erachtens auch die Sache bei der mit der Kellermauer freilich nur sehr bedingt vergleichbaren Erdrinde, deren Teile ein verschiedenes Alter besitzen und deren Erhaltungszustand ein sehr verschiedenartiger ist".

Nun hat Branca dort, wo er selbst eine Verallgemeinung seiner Lehre darum nicht befürworten kann, weil ja tatsächlich Spaltenergüsse bekannt seien, und später nochmals betont, daß das Magma unter Umständen hier die klaffenden Spalten lediglich nur auf dem oberen Teil seines Weges benutzt, den untern Teil seines Durchbruchkanals sich jedoch selbst geschaffen haben könne. Umgekehrt sei aber auch der Fall denkbar, daß die Unabhängigkeit von vorhandenen Spalten nur auf die obere Tiefe beschränkt sei, wogegen in der

[1]) Lenk, Monatsberichte der Deutschen Geolog. Gesellschaft, 1908, No. 8/10, u. a. a. O.

untern Tiefe der Schmelzfluß auf einer offenen Spalte aufgestiegen sein könne. Er stützt sich bezüglich des letztern Falles darauf, daß wie wir heute mit einer gewissen Sicherheit annehmen dürfen, die Faltung, also die Zusammenpressung der Erdrinde nur auf die obern Schichten der Erdhaut beschränkt sei, und daß anderseits große Teile der Erdrinde über andere hinweggeschoben worden seien, wie uns die neuesten Erfahrungen über die Vorgänge bei der Gebirgsbildung gelehrt haben. „Wenn nun in einem Gebiete nur die überschobenen obern Schichten der Erdrinde Faltung und Pressung, die tiefern dagegen Zerrung erführen, dann könnten in solchem Gebiete sehr wohl in der Tiefe Spalten geöffnet sein, während oben, in der überschobenen Scholle, keine vorhanden wären. Es ist also denkbar, daß das Magma lokal selbst in Gebieten der (oben stattfindenden) Pressung doch in der Tiefe aus Spalten aufsteigen, also von Spalten abhängig sein könnte, während es in den höhern Schichten sich nur durch Explosionen und Aufschmelzen seinen Ausweg bahnte, also von Spalten unabhängig wäre“ [1]). Das wäre denkbar! Aber da nur die oberen Schichten unserer Beobachtung zugänglich sind, und das Vorhandensein resp. Fehlen von Spalten, resp. Dislokationen in deren Untergrund lediglich eine Sache der Spekulation ist, so muß das Verhalten der magmatischen Ergüsse in dem oberen Teile der Erdkruste, also deren Unabhängigkeit von präexistierenden Spalten um so mehr ins Gewicht fallen. Eine Annahme, die Lenk aber nicht gelten lassen will, denn seines Erachtens kommt der Beschaffenheit des dem Sitze des Magmas näheren (und jedenfalls mächtigeren) Untergrundes eine ausschlaggebende Bedeutung zu, und ihr gegenüber müssen die Verhältnisse einer relativ dünnen Oberflächenschicht zweifellos

[1]) Über die Möglichkeit, „wie auf die Dauer eine aufsteigende Straße der Lava sich im faltenden Gebirge“ dennoch behaupten kann, hat sich übrigens neuerdings Sueß ausgesprochen und sehr geistreiche Ausführungen gemacht. (Antlitz der Erde, III, 2, S. 672 ff.)

in den Hintergrund treten, mag dies 800 oder auch 2000 Meter betragen. Denn in jedem Falle ist sie recht klein im Vergleich zur Dicke der Erdkruste, deren Mächtigkeit bis zu den Magmaherden wir auf mindestens 20, wahrscheinlich aber auf viel mehr Kilometer veranschlagen dürfen. Und Hibsch[1]) wendet sich in gleichem Sinne gegen Branca. Wir haben dessen Werte bereits früher angezogen. „Das Hervorheben dieser Tatsache" sagt der österreichische Geologe, „kann doch nicht als Spekulation angesehen, werden. Ebenso wenig ist es Spekulation, wenn von mir betont wird, daß für die einzuschlagenden Wege des Magmas der tektonische Bau der untern Teile der Erdkruste maßgebend ist, weil das Magma an den Stellen des geringsten Widerstandes die Kruste durchbricht."

Läßt sich doch, so meint der Genannte weiter, bei dem gegenwärtigen Stande unsres Wissens die Frage der Vulkanausbrüche gar nicht ohne jede Spekulation erörtern, was ja Branca auch tue. „Wo es möglich ist, sich den tiefsten Zuführungsstraßen zu nähern," sagt Sueß[2]), „gelangt man in der Regel zu Spalten."

Branca meint schließlich, die Ansicht von Sueß, wonach die magmatischen Herde der Vulkane auf ähnliche Weise wie die Geysire entstanden, könnte uns einmal „zum rettenden Worte" verhelfen. Unter Zugrundelegung dieser Lehre, mit der wir uns später noch eingehender zu beschäftigen haben werden, würden aus dem Magmaherde aufsteigende heiße Gasblasen die unteren Teile der festen Erdkruste (Gneise, Granite, Diabase usw.) wieder zum Einschmelzen bringen und Schmelzherde entstehen lassen, hier aber infolgedessen ihre hohe Temperatur verlieren, so daß die oberen Teile der Erdrinde (Kalke, Sandsteine usw.) nicht mehr geschmolzen werden könnten. Denn würden diese letzteren ebenfalls zum Schmelzen gebracht, so müßten wie in ihrer Zu-

[1]) Bemerkungen zur Frage der Abhängigkeit vulkanischer Ausbrüche von vorhandenen Spalten.

[2]) Das Antlitz der Erde. III, 2, pag. 657.

sammensetzung ganz anormale Lava erhalten, die wir bekanntlich nicht kennen. Es würde uns dieses errettende Wort „erlösen aus der Schwierigkeit, daß einerseits den Vulkanen anscheinend doch flachgelegene isolierte Schmelzherde zugrunde liegen, während anderseits doch das Vorhandensein offener Spalten in der Tiefe, aus denen sie aufgestiegen wären, so nebelhaft erscheinen will, sobald wir an ein Plastischwerden des Gesteins denken, zunächst durch Hitze im heißen Niveau, weiter hinauf im kühleren Niveau durch hohen Druck, und sobald wir zweitens an den gewaltigen Seitendruck in dem Kugelgewölbe der Erdrinde denken."

So überzeugend diese Worte von Branca zuerst auch klingen mögen, so muß doch bei näherer Betrachtung dieser Hypothese die Frage aufgeworfen werden, auf welche Weise denn die aus dem Magma der Tiefe herkommenden heißen Gase sich ihren Weg bis zu den unteren Teilen der festen Erdhaut zu bahnen vermögen, wenn nicht etwa durch Spalten? Daubrée[1]) hat allerdings einmal den Versuch gemacht, Wasserdampf durch ein festes Gesteinsstück hindurch diffundieren zu lassen, und zwar durch von oben her auf die Wasserdampfsäule wirkenden Druck. Jedenfalls ist die Frage, ob es für die im Magma der Tiefe eingeschlossenen Gase möglich sein dürfte, sich ohne das Vorhandensein von Spalten durch die verschiedenen Aggregatzustände, in welchen die im Inneren der Erde vorhandenen Massen — je nach den in den verschiedenen Niveaus vorherrschenden Druck- und Wärmeverhältnissen — sich zweifellos befinden müssen, bis zu den unteren Teilen der Kruste hindurchzuzwängen, eine sehr subtile. Hier sieht es fast so aus, als ob der Berliner Meister versuchen wollte, den Teufel mit Beelzebub auszutreiben! Den Fall gesetzt, es verhielten sich die Dinge wirklich so, wie Branca hier eventuell vermuten möchte, und die Gase könnten ohne Vermittlung von Spalten aufsteigen, so würde

[1]) Etudes synthétiques de Géologie expérimentale. Paris 1879.

dieser Umstand ein schlagender Beweis dafür sein, daß es eine zusammenhängende Zone glutflüssigen Materials unter der festen Erdkruste nicht geben kann, sondern daß tatsächlich nur vereinzelte Schmelzherde vorhanden sind. Denn sonst müßten ja die heißen Gase überall aus der Magmazone nach oben steigen, allenthalben würden die Silikatgesteine der unteren Teile der Erdfeste umgeschmolzen werden, die so entstehenden neuen Schmelzherde würden alle vermittelst der ihrer Materie innewohnenden Perkussionskraft ihre glutigen resp. zerstäubten Massen an die Erdoberfläche entsenden, die wie ein enggedrängtes Sieb von vulkanischen Ausbruchsröhren durchlöchert sein müßte!

Das Gesamtergebnis des Streits um die vulkanische Spalte ist bislang trotz des Eifers und der Akribie mit welchen derselbe von beiden gegnerischen Seiten geführt wurde, ein wenig erfreuliches gewesen. So glänzend und fördernd für die geologische Wissenschaft die Resultate auch waren, welche man den schönen und epochemachenden Forschungen Geikies über Schottland und Brancas und seiner Mitarbeiter über das Maargebiet von Urach und die vulkanischen Erscheinungen im Ries und bei Steinheim in Schwaben zu verdanken hatte, die Polemik, die sich daran knüpfte und seit geraumen Jahren in ungeschwächtem Maße fortdauert, hat außer diesen bisher noch keine weiteren positiven Tatsachen von größerer Wichtigkeit gezeitigt. Es möchte zuweilen allerdings scheinen, als ob, um mit Lenk zu reden, die sehende Geologie in der Vulkanfrage auf einem toten Punkt angelangt wäre und gezwungen sein dürfte, mit Dank die Hilfe der rechnenden und messenden Physik insbesondere der Erdbebenforschung, und der physikalischen Chemie anzunehmen, denen das letzte Wort über das Problem des Vulkanismus zufallen dürfte. Wenn überhaupt einmal, das wollen wir stark betonend hinzufügen, dieses letzte Wort über die genannten Erscheinungen gesprochen werden kann! Emanuel Kayser in Marburg hat jüngst geäußert, daß, wie man früher allzu rasch bei der Hand war, ohne genügende Untersuchung an Ort und

Stelle für einzelne Vulkane und für ganze Vulkangebiete große verbindende und rein hypothetische Spalten anzunehmen und daraus weitreichende Schlüsse zu ziehen, man jetzt umgekehrt im Bestreben, den Zusammenhang des Vulkanismus mit Dislokationen in Abrede zu stellen, ebenfalls über das richtige Maß hinauszugehen scheint[1]). Daß einerseits das Magma imstande ist, sich seinen Weg an die Erdoberfläche ohne präexistierende Spalten zu bahnen, das ist eine heute feststehende Tatsache. Allerdings mit der Restriktion, daß unsre Kenntnis von der Beschaffenheit der Erdrinde nur einen verhältnismäßig recht oberflächlich gelegenen Teil dieser letzteren umfaßt. Wir werden also mit Branca besser sagen, daß das Magma sich auf eine beträchtliche Länge den oberen Teil seines Weges auf solche Weise schaffen kann. Aber neben diesem Faktum besteht das andre ebenso sicher, daß die große Mehrzahl der Vulkane der Gegenwart und vergangener geologischer Zeiten an Dislokationen, an Zerrungs- und Zertrümmerungslinien gebunden ist und war. Und damit werden wir uns vorderhand wohl oder übel abfinden müssen!

---

[1]) Lehrbuch der Geologie, 3. Aufl., I, Stuttgart 1909.

Dritter Abschnitt.

Der Mechanismus des Vulkans.

a) Die treibende Kraft.

Allgemeines. Das Wasser als aktives Moment im Vulkanismus. Delamethrie und Werner. Anschauungen von Bergmann, Breislack und Humphry Davy. Von der möglichen Herkunft des Wassers in den Vulkanen. Die marine Provenienz desselben. Ansichten dafür und dawider. Die Möglichkeit der Infiltration von süßem Wasser in das Magma. Die Emanationstheorie. Vadoses und juveniles Wasser. Der Zutrag aus der Tiefe. Andere vadose und juvenile Substanzen. Beweise für die Emanationstheorie. Die verschiedenen Phasen vulkanischer Tätigkeit. Zeitliche und örtliche Reihenfolge in den Emanationen der Vulkane. Fumarolen. Die Zinnerzlagerstätten und ihre Begleiterscheinungen im Erzgebirge, und ihre Beziehungen zur Thermalspalte Nordböhmens. Die Exhalationen der Solfatara von Vulcano. Rekapitulation der Ergebnisse der Emanationslehre. Armand Gautiers Versuche und die mögliche Herkunft des vulkanischen Wassers aus in der Tiefe umgeschmolzenen Silikatgesteinen. Albert Bruns Lehre vom wasserlosen Vulkan.

Was ist es nun, das glühende Dampf- und Aschenwolken aus den Schlünden der Vulkane schleudert, viele tausend Meter hinauf in die Atmosphäre, und unter Toben, Poltern und Donnern, daß man das unheimliche Geräusch zuweilen Hunderte von Kilometern weit vernehmen kann? Was ist es, das heiße Gasmassen aushaucht und dieselben mit Blitzesschnelle hinwegtreibt über große Areale, alles Lebende, was darauf ist, in der Frist von nur wenigen Sekunden vernichtend? Was ist's, das die Flanken der Erde aufreißt und den glutigen Lavabrei aus ihren Eingeweiden herausströmen läßt, was türmt

und schichtet in wenigen Tagen neue Berge auf, und zermalmt wiederum andere im Zeitraum einiger Minuten zu Staub und Asche, oder läßt sie teilweise in die Tiefe versinken? Wie heißt die treibende Kraft, die das alles vermag?

Thales von Milet, der Begründer der griechischen Philosophie, mag uns Antwort darauf geben. „Das Prinzip aller Dinge," so hat dieser Weise einmal gesagt, „ist Wasser; aus Wasser ist alles und in Wasser kehrt alles zurück." Wasser ist auch das Prinzip aller vulkanischen Dinge, die belebende Kraft dieser Erscheinungen. Ob der Mileter seinen Ausspruch auch darauf bezogen hat, ob er schon geahnt hat, was wir einige Jahrtausende später erst durch die Erfahrung kennen lernen durften, das mag dahingestellt bleiben. Ist doch nach Goethe alles Gescheite schon gedacht worden, und man muß nur versuchen, es noch einmal zu denken. Und Thales von Milet war doch einer der sieben Weisen!

Daß Wasser das aktive Moment, der Spiritus rector bei den Phänomenen des Vulkanismus sei, das ist wohl zum erstenmal von Spallanzani, dem Vater der Vulkanologie, genauer präzisiert worden, von demselben, der den Satz aufstellte, dass die Art und Weise, in denen die Mächte des Untergrundes sich äusserten, stets dieselben seien und stets auf denselben Ursachen beruhten, ganz einerlei, ob ihre Kraftentfaltung nur eine schwache oder eine starke und intensive sei. Spallanzanis Lehre hat indes geraume Zeit gebraucht, um zur Anerkennung zu gelangen, denn der in jenen Tagen übermächtige Neptunismus durfte und wollte derartige Ketzereien nicht aufkommen lassen, trotzdem auch bei diesen Wasser mit im Spiel war. Delamethrie und Werner hielten brennende Steinkohlenflötze für die Ursache der vulkanischen Kraftäußerung, Bergmann und Breislack wollten den Vulkanismus mit im Erdinnern entzündetem Bergöl erklären, der geistreiche von Hoff, Lister und noch andere mehr nahmen chemische Prozesse, durch welche Eisen, Schwefelkies und andere oxydierbare Körper zersetzt würden, als die einzig richtigen Faktoren

für die Deutung der vulkanischen Erscheinungen an. Dadurch müßten entzündliche und expansible Stoffe erzeugt werden, deren Elastizität überall, wo man sie beobachten konnte, eine ungeheure Kraft zeige. Das ist der Meinung der eben Genannten nach die Grundursache dieser gewaltigen Erscheinungen, und eine damit unmittelbar in Verbindung stehende fernere ist die Zersetzung des Wassers.

Humphry Davy, der berühmte englische Chemiker, hat die metallischen Basen der Alkalien und alkalischen Erden nachgewiesen und ist bei diesem Anlaß auf den Gedanken gekommen, daß ganz gewaltige Mengen dieser Metalle in unoxydiertem Zustande im Erdinnern aufgestapelt sein müßten. Zu diesen Anhäufungen hat das Wasser nun gelegentlich Zutritt, was die Entwicklung von Gasen, die Verbindung des im Wasser enthaltenen Sauerstoffs mit den Metallen und die Erzeugung einer großen Wärmemenge zur Folge hätte. Letztere würde durchaus genügen, um die Gesteine im Untergrunde umzuschmelzen und die glutigen Massen, die Ergüsse der Vulkane zu erzeugen. Als Davy späterhin gelegentlich eines Ausbruchs am Vesuv, dessen Zeuge er war, keinen Wasserstoff in den entweichenden Gasen entdecken konnte, kam er selbst allmählich zur Überzeugung von der Unhaltbarkeit seiner Ansicht. Nun tritt Wasserstoff bei allen vulkanischen Eruptionen auf Erden in größerer oder geringerer Menge aus den Feuerschloten heraus, er ist eines der häufigsten Gase dabei, und so ist es ein eigentümlicher Zufall gewesen, der Davy hier einen Streich gespielt hat. Immerhin wäre auch ohne das die Davysche Theorie aus anderen chemischen Gründen nicht von Bestand gewesen, und es ist auch gar nicht annehmbar, daß so große Mengen der vorerwähnten Stoffe im Erdinnern angehäuft sein können. Nach Fouqués Berechnungen würden allein für einen stärkeren Ausbruch des Ätna 7 Millionen Kubikmeter Natrium nötig gewesen sein.

Auch zu elektromagnetischen Beziehungen zwischen der Sonne und der Erde hat man seine Zuflucht genommen, um

eine Erklärung für die vulkanischen Erscheinungen auf unserem Planeten zu finden. Aber diese genügten ebenfalls in keiner Weise und waren ebenso anfechtbar und nicht minder unhaltbar, wie die chemischen Theorien. Wasser kam bei diesen letzteren ja in Betracht, aber immer nur als zersetzendes, als chemisch wirkendes, nicht als physikalisches, als bewegendes und auftreibendes Agens. Hat doch auch Davy besonders darauf hingezeigt, daß der bloße Anblick der Säule weißen Dampfes, die dem Vulkanschlot entströme, aufwärts gehoben werde und sich zu dichten und schweren Wolken über dem Berge ansammle, um alsbald darauf als stromartiger Regen auf das umliegende Gelände niederzugehen, sofern die Wolken nicht vom Winde vertrieben würden, die Anwesenheit großer Mengen Wassers unabweisbar dartun müsse. Die Rolle, welche nach unseren gegenwärtigen Anschauungen das Wasser bei den vulkanischen Phänomenen zu spielen berufen ist, ist nun der Hauptsache nach physikalischer Natur. Der Wasserdampf ist das elastische Fluidium, die Haupttriebfeder, welche eine im Ausbruch befindliche vulkanische Stelle entlädt.

Woher kommt aber dieses Wasser?

Angesichts des Umstandes, daß die allermeisten tätigen Feuerberge in der Nähe der Meere zu finden sind, lag die Antwort auf diese Frage nahe. Es ist Meerwasser, das aus irgendwelchen Ursachen, so durch das Aufreißen von Spalten am Grunde oder durch langsames Einsickern in den Erdboden, oder auch durch Höhlungen im Felsgerüst der Erde so tief in diese letztere eindringen kann, daß es auf glutige Gesteinsmassen trifft und durch Berührung mit diesen zur Explosion gebracht wird Bei diesem Anlaß müssen Risse entstehen, oder alte, bereits geschlossene Klüfte wieder erweitert werden, und das vom Wasserdampf getriebene Magma steigt auf ihnen in die Höhe.

Nach Alexander von Humboldt soll bereits der römische Schriftsteller Trogus Pompejus, ein Zeitgenosse des Livius und Verfasser sehr verschiedener Bücher, darunter auch einiger

naturwissenschaftlichen Inhalts, Beziehungen zwischen eingedrungenem Meerwasser und vulkanischen Ausbrüchen betont haben. Leopold von Buch ist für dieselben eingetreten, von Hoff, Bischof, und viele andere Geologen haben sie ausdrücklich betont, und auch in der Gegenwart hält diese Lehre noch vor. Alexander von Humboldt hingegen hat sich nicht in absolut bestimmter Weise dafür ausgesprochen, vielmehr die Möglichkeit, ob nicht auch in die Tiefen einsickerndes meteorisches Wasser hier in Betracht kommen müsse, offen gelassen. Ausschlaggebend dafür war ihm die Frage, ob denn nicht etwa bei verschiedener Tiefe des vulkanischen Herdes die Expansivkraft der erzeugten Dämpfe dem hydrostatischen Druck des Meeres das Gleichgewicht halten und darum auch den freien Zutritt des ozeanischen Wassers zum vulkanischen Behälter verhindern müsse. Ferner zog der Verfasser des Kosmos in Erwägung, ob denn die vielen metallhaltigen Chlorverbindungen und andere Substanzen, welche vom Vulkanschlot ausgehaucht werden, nur durch infiltriertes Meerwasser und nicht noch auf andere Weise sich erklären ließen, und ob schließlich die Ruhe der Vulkane von der Verstopfung der Kanäle abhängig sei, welche vorher die Meer- und Meteorwasser zugeführt hätten. Müsse nicht vielmehr der Mangel an Flammen und an freiem Wasserstoff mit der Annahme großer Mengen zersetzten Wassers in offenbarem Widerspruch stehen? Das Bedenken vom fehlenden Hydrogen würde — wir haben das schon weiter oben betont — heutzutage hinfällig sein, und auch Flammenerscheinungen sind seither vielfach und in Menge beobachtet worden.

Zieht man nun weiter die Tatsache in Betracht, daß die von den Vulkanen geförderten gasigen Massen eben auch diejenigen sind, welche das Meerwasser gelöst enthält, und die aus der Zersetzung dieser Salze entstehen können, so die Salzsäure, das Chlornatrium, die Alkalien, so mußte die Annahme, das als Triebkraft bei den vulkanischen Kraftäußerungen wirkende Wasser stamme aus den Ozeanen, doch recht plausibel erscheinen, zu-

mal ja die ganze Sache auf solche Art in durchaus ungezwungener und logisch erscheinender Weise sich erklären ließ. Nur wurde diese Anschauung insofern etwas modifiziert, als man von der Notwendigkeit eines plötzlichen Aufklaffens von Spalten am Meeresgrunde oder von größeren Ergüssen von Meerwasser in die magmatischen Behälter absehen zu dürfen meinte und den Vorgang durch langsames Einsickern dieses letzteren durch die festen Gesteinsschichten hindurch bis zur glutigen Materie erklären zu können glaubte. Ein gewaltsames und rasch erfolgendes Hineinstürzen des Meerwassers in solche präsumierte Klüfte hätte ja zur Folge haben müssen, daß es sich nicht gehörig zu erwärmen vermochte und daher noch in ziemlich kaltem Zustand auf das Magma gestoßen, hier aber dann gezwungen worden wäre, zu explodieren, anstatt sich mit dem Glutbrei zu vermischen. Denn, wie Reyer das in geistvoller Weise ausgeführt hat, wenn kaltes Wasser während einer Eruption bei normalem Druck an der Erdoberfläche mit dem glühenden Eruptivbrei in Kontakt tritt, muß es sich im ersten Moment von diesem sondern und explodieren. Das mag in gewissen Fällen auch tatsächlich zutreffen, wenn sich infolge einer Eruption Dislokationen bilden, welche dem Meer- oder Grundwasser den Zutritt zur im Vulkanschlot aufsteigenden Lavasäule gestatten. Es ist aber dann doch nur eine Folge und nicht die Ursache des Ausbruchs selbst. Diese Erscheinungen vollziehen sich in nur geringen Tiefen, in denen also der Druck nicht in einem nennenswerten Maße von demjenigen an der Oberfläche herrschenden verschieden sein dürfte, in tieferen Regionen der Meeresräume ist aber aus vielen Gründen das Entstehen der zu solchen Explosionen führenden Dinge wohl so gut wie ausgeschlossen.

Anders, wenn das Meerwasser imstande ist, auf dem Wege kapillarer Wanderung zum Magma vorzudringen. Letzteres würde das bei zunehmender Tiefe natürlicherweise nur noch in Dampfform einsickernde oder, richtiger gesagt, diffundierende Wasser zu absorbieren vermögen, und diese Absorbtionsfähigkeit nähme

proportional dem Drucke zu, solange letzterer sich noch in mäßigen Grenzen halten kann. Je höher der Druck aber steigt, um so weniger Gas kann absorbiert werden, und das Magma muß schließlich in einen Sättigungszustand gelangen. Wenn aber die Zufuhr von Gasen auch dann nicht aufhört, so sind sie gezwungen, vom Glutbrei abgesondert zu bleiben, und wird vollends der Druck hier so stark, um das Gas in den flüssigen Aggregatzustand überzuführen, so werden beide Flüssigkeiten abgesondert nebeneinander bestehen können. „Wasser," sagt Reyer, „welches bei der Schmelzhitze des Silbers sich zu dissoziieren beginnt (in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff zerfällt) und bei 2500° C bei normalem Druck vollständig dissoziiert ist, würde 30 Kilometer unter der Erdoberfläche infolge der herrschenden Temperatur sich partiell zerlegen; der hohe Druck verhindert jedoch die dissoziierende Wirkung der Temperatur, und man dürfte demnach wohl in größeren Tiefen unseres Planeten durchgehends glühendes, nicht dissoziiertes Wasser antreffen[1])."

Wird das Magma eruptiv, so müssen sich auch diese Verhältnisse ändern. Dann wird der Druck und die von diesem ausgeübte assoziierende Wirkung aufgehoben, und die dissoziierende Macht der hohen Temperatur kommt wieder zur vollen Geltung. Die Lösung wird zu Gas, und die Verbindung zerfällt in ihre Bestandteile, und erst in den kühleren Regionen des Vulkanschlotes kann ihre Wiedervereinigung, ihre Reassoziation stattfinden. Die gewaltigen Detonationen, welche die Eruptionen oft zu begleiten pflegen, können zum Teil durch diese Verbindung hervorgerufen werden; insbesondere muß hier die Wiedervereinigung von Sauerstoff und Wasserstoff wirksam sein.

Seitdem Daubrée, durch ein schönes und lehrreiches Experiment nachweisen konnte, daß Wasser trotz des ihm entgegenarbeitenden Gegendrucks sogar bei höherer Temperatur durch Gesteine hindurchzusickern vermag, hat die Annahme von einem

---

[1]) Theoretische Geologie, Stuttgart 1888.

langsamen Einsickern des Meerwassers in die Tiefe keine gewichtigeren Widersprüche mehr zu gewärtigen gehabt. Man hat sogar noch die weitere Behauptung aufgestellt, die Nachbarschaft der heißen magmatischen Massen müsse das Meerwasser geradezu zum kapillaren Eindringen in die Erdfeste zwingen. Ob, wenn das geschieht, das Sickerwasser nun gewissermaßen Tropfen für Tropfen dem Magma sich beigesellt, oder ob im Erdinnern vorhandene größere und geringere Hohlräume und Klüfte damit angefüllt werden, darüber sind auch verschiedene Meinungen laut geworden. So hat Lyell, der große englische Geologe, die letztere vertreten — wir haben bereits früher einiges davon gesagt — und der Spannkraft des überhitzten Dampfes, der sich bei dieser innigen Berührung von Wasser und Feuer bilden müßte, nicht nur die Rolle des Auftriebs der vulkanischen Massen, sondern auch noch die viel bedeutendere zugestanden, die zu diesem Auftrieb nötigen Wege selbst zu schaffen, mit anderen Worten, die überlagernden Gesteinsschichten auseinanderzureißen.

Die soeben vorgetragene Lehre vom einsickernden Meereswasser, als der Grundursache der vulkanischen Erscheinungen, ist naturgemäß nicht ohne Einwürfe geblieben, deren gewichtigste wir hier etwas näher erörtern wollen. So ist mit sehr viel Recht entgegengehalten worden, daß die so oft und mit so viel Nachdruck hervorgehobenen nachbarlichen Beziehungen zwischen Vulkanen und Meeresbecken mit Rücksicht auf die Möglichkeit der Infiltration von Meerwasser bis zum glutigen Herde zuweilen doch recht weit hergeholte sind. Bei Feuerbergen, wie der Vesuv oder der Ätna, läßt sich eine derartige Möglichkeit gewißlich nicht bestreiten, wohl aber bei Vulkanen, die 100 und mehr Kilometer von der Küste entfernt liegen. Der Tolima und der Cotopaxi sind in der Luftlinie 200 Kilometer weit vom Meere aufgebaut, der Antisana 230 Kilometer, der Sangay sogar 250 Kilometer. Letzterer ist aber in beständiger eruptiver Tätigkeit begriffen, und der Cotopaxi haucht Salzsäure,

schwefelige Gase und alle die wichtigsten Substanzen, welche die europäischen Vulkane entströmen lassen, aus. Der Popocatepetl in Mexiko, der gleichfalls salzsaure Dämpfe von sich gibt, steht in 245 Kilometer Entfernung vom Meere, der Kilimandscharo 300 und der Kenia 500! Und die Feuerberge der Mandschurei, die noch im 18. Jahrhundert tätig gewesen sein sollen, erheben sich über 800 Kilometer von der Küste, der Kirungo südlich vom Albert Edward-See und der Teleki-Vulkan am Südende des Rudolfsees 1100, bezüglich 750 Kilometer vom Ozean! Auch der noch rauchende persische Vulkan Koh-i-tafdan, dem Ätna an Höhe gleichkommend, wurde 390 Kilometer weit vom Meere aufgeschüttet.

Sodann hat man eingewendet, daß das Vorkommen vieler der im Meerwasser gelösten Substanzen in den Emanationen der Vulkane kein Beweis für deren Provenienz aus infiltriertem Meerwasser sei. Diese Lehre kann, sagt Lapparent[1]), wohl eine vom chemischen Standpunkte aus annehmbare Erklärung für das Vorhandensein der betreffenden Stoffe in den vom Vulkan ausgespieenen Erzeugnissen geben, sonst aber nichis weiter. So wenig uns der Umstand, daß der menschliche Körper hauptsächlich aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff besteht, zu der Folgerung berechtigt, daß er diese Elemente der Luft entnimmt, die dieselben bekanntlichermaßen ja ebenfalls enthält, ebensowenig dürfen wir den Schluß ziehen, daß, weil die Gase der Vulkane auch im Meerwasser sich befinden, dieses mit den Feuerbergen in Beziehung gebracht werden müsse. Vollends aber nicht, wenn so gewichtige Dinge dagegen sprechen, wie hier. Wir meinen damit nicht nur etwa die eben herangezogenen großen Entfernungen vieler tätiger Vulkane von der Meeresküste, sondern noch andere Dinge. Von dem vorgenannten französischen Geologen wird nämlich noch weiter gegen die hier in Frage stehende Ansicht bemerkt,

[1]) Traité de Géologie, 5. édt., Paris, 1906.

daß man sich das Zusammentreffen von Wassermengen mit dem Magma doch kaum anders als in der Dampfform vorzustellen vermöchte, und ist dem so, dann dürften diese Dämpfe doch die Salze nicht mehr enthalten, die sie im flüssigen Aggregatzustande gelöst fesseln konnten. Weitere Einwürfe, die sich nicht nur auf die Frage, ob die Triebkraft des Vulkanismus Meerwasser oder Süßwasser, sondern auch auf die weitere, ob es überhaupt infiltriertes Wasser ist, einerlei ob mariner oder anderer Herkunft, beziehen, werden wir noch im folgenden kennen lernen. Wir sind der Anschauung, das auftreibende Agens der vulkanischen Erzeugnisse sei in der Spannkraft der durch Kontakt von Magma und Wasser entstandenen Dämpfe zu suchen, allerdings schon etwas näher getreten, aber nur immer soweit, als es zum Verständnis der Sache nötig war, und wir haben uns im weiteren noch einmal eingehender damit zu beschäftigen. Der Umstand, den wir unseren jetzigen Betrachtungen zugrunde legen, handelt vorderhand lediglich davon, ob überhaupt Wasserinfiltrationen von der Erdoberfläche aus bis zum Magma hinab möglich und erklärbar sind, oder nicht, sodann ferner, ob dieses Wasser durchaus Meerwasser sein muß, oder ob es auch eine anderweitige Herkunft haben kann. Das Wasser selbst ist ja vorhanden. Das lehrt uns die Erfahrung.

Die ozeanische Natur der vom Vulkan geförderten Wasserdämpfe, so haben wir gesehen, ist zwar angenommen, und wir können noch weiter sagen, allgemeiner angenommen worden. Mit welchem Rechte, das erhellt aus den ebenfalls schon angedeuteten Einwürfen gegen diese Lehre. Es kommen zu diesen noch andre hinzu. So hat in neuester Zeit Supan gegen die Möglichkeit infiltrierenden Meerwassers in die magmatischen Behälter angeführt, daß ausgedehnte Küstenstriche vulkanlos sind, daß also an einigen Stellen des Planeten ein Einsickern der marinen Feuchtigkeit in seine Gesteinshülle zulässig wäre, an andern aber wiederum nicht, eine gegnerische Meinung, die allerdings nicht so leicht aus dem Felde zu schlagen sein dürfte.

Weniger glücklich dagegen dürfte die ebenfalls schon gemachte Einrede sein, daß der Meeresgrund überall, wo man ihn untersucht, aus einem so fein zermalmten kalkigen Schlamme bestünde, daß derselbe stets wie der beste Zementkitt alle Spalten unbedingt wasserdicht verschließen müsse. Die Anhänger dieser Ansicht befinden sich in zwiefachem Irrtum. Einmal, das ist schon weiter oben bemerkt worden, glaubt wohl kein vernünftiger Forscher der Gegenwart mehr an auf dem Meeresgrunde aufklaffende Spalten, welche dem Magma Wasser zuführen könnten. Unter gewissen Voraussetzungen wäre dies ja allerdings möglich, — auch hier verweisen wir auf das darüber schon Geäußerte — und wir wiederholen, daß ein solches Phänomen dann aber nur die Folge, nicht die Ursache der Eruption sein könnte. Zum zweiten aber ist die Behauptung, ein feiner kalkiger Schlamm mache den Meeresgrund wasserdicht und verkitte alle Spalten auf und in demselben, gelinde ausgesprochen, ein Unsinn. Denn dieser Schlamm ist durchaus nicht überall vorhanden, zum wenigsten aber nicht in der Nähe der Küstenlinie; aber auch dann, wenn dies tatsächlich so wäre, wie es eben nicht ist, würde dieser Schlamm den Meeresboden nicht so wasserdicht abzuschließen imstande sein. Denn es gibt auf unserm Planeten keine absolut wasserundurchlässigen Gesteine; mehr oder weniger sind alle von Feuchtigkeit durchtränkt, die — wir meinen hier nur die verfestigten Felsarten, nicht die noch im magmatischen Zustande befindlichen — nur durch Infiltration von der Erdoberfläche aus verursacht worden sein kann.

Wenn somit aus triftigen Gründen der Zutritt von Meerwasser zu der glutigen Masse im Erdinnern im allgemeinen ausgeschlossen erscheinen dürfte, wenn aber weiter die Vulkane dennoch Wasserdämpfe und Gase vieler auch in den Ozeanen enthaltener Stoffe herausschießen, so muß die Herkunft dieser dampfförmigen und gasigen Substanzen anderswo zu suchen sein. Und dann bliebe nur die Alternative übrig, daß die Wasserdämpfe von Süßwasser herstammen, welches auf seinem Wege

zur Tiefe die übrigen Stoffe gelöst und dem Magma zugeführt hätte, oder aber, daß das Wasser und das Übrige nicht erst dem glutflüssigen Gesteinsbrei zugebracht wurden, vielmehr schon von Anbeginn an in diesem letzteren enthalten gewesen sind. Prüfen wir einmal, ob dergleichen möglich und wahrscheinlich sein könnte!

145 Millionen Quadratkilometer groß ist das Gesamtareal der Kontinente auf Erden. 122500 Kubikkilometer Wasser fallen jährlich auf das Festland nieder und würden dasselbe im Falle einer gleichmäßigen Verteilung mit einer 0.844 Meter hohen Wasserschicht bedecken. Von diesen 122500 Kubikkilometern ist der größere Teil, 95300 Kubikkilometer, an die Wechselreise zwischen Festland und Atmosphäre ohne Vermittlung des Meeres gebunden, fällt also sofort wieder der Verdunstung anheim. Die übrigen 27000 Kubikkilometer machen denselben Weg, aber durch Vermittelung des Ozeans und stellen etwa den fünfzigtausendsten Bruchteil der Menge Wasser vor, welche in den Meeresbecken des Planeten enthalten ist. Von diesen 27200 Kubikkilometern wieder fließt ein weiterer Teil oberflächlich ab, ohne in das Felsgerüst der Erde einzudringen. Das jedoch, was davon in die Tiefe einsickert, kommt auch nur wieder teilweise in der Gestalt von Quellen zu Tage, denn die Erdfeste hält etwas davon zurück, einmal derart, daß der Sauerstoff des Infiltrationswassers zur Oxydierung vieler Stoffe im Erdinnern dienen muß, wodurch im Verlaufe der Äonen ein beträchtliches Quantum Feuchtigkeit der Erdoberfläche dauernd entzogen und in die Tiefe gebannt worden ist, dann aber durch die Imprägnation mit Wasser, welche alle Gesteine, auch die scheinbar wasserundurchlässigsten erfahren, durch die sogenannte Bergfeuchtigkeit. Fünf Prozent des sämtlichen auf unserm Planeten vorhandenen Wassers sollen nach den Berechnungen von Delesse auf solche Weise dem eigentlichen Kreislauf entzogen worden sein, und es soll diese Menge mindestens dem Quantum gleichkommen, das in den Meeresbecken der Erde flutet, so weit und tief diese auch sein mögen.

Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß infolge der fortdauernden und stetig tiefere Zonen unsrer Erde in Mitleidenschaft ziehenden Abkühlung des Planeten die Möglichkeit für das Infiltrationswasser gegeben ist, in stets größere Tiefen einzudringen, ohne in Dampf umgewandelt zu werden, daß demnach im Verlaufe der Zeiten immer mehr Wasser der Erdoberfläche dauernd entzogen wird, um in die Abgründe zu wandern und dort festgehalten zu werden, so sehen wir leicht ein, daß einmal, wenn auch in einer nicht berechenbaren Zahl fernliegender Tage, die Stunde kommen muß, in welcher kein Wasser mehr auf dem Antlitz únsres Planeten sichtbar sein und alles in den Eingeweiden der Erde aufgestapelt sein wird. Dadurch, daß der Vulkanismus einen Teil des auf die eben geschilderte Weise für die Erdoberfläche verloren gehenden Wassers wieder ersetzt — wir setzen hier voraus, daß das vom Vulkan geförderte Wasser kein marines ist —, würde diese Erscheinung für den Haushalt der Natur von dem allergrößten Werte, einfach unschätzbar sein, und die enormen Wohltaten, welche sie für die Erde und ihre Bewohner im großen und ganzen schaffte, fielen so sehr ins Gewicht, daß alle die Verheerungen und Zerstörungen, die gewaltigen Verluste an Menschenleben und an Eigentum, die vulkanische Kraftäußerung so vielfach und in so ungeheuerem Maße zuweilen auf Erden anzurichten pflegt, durchaus nicht dagegen in Betracht kommen könnten. Alles in allem genommen, hätten wir also, vom rein menschlichen Standpunkte aus betrachtet, im Vulkanismus eine viel mehr segensreiche als verderbliche Erscheinung zu sehen.

Der Möglichkeit, daß also auch süßes Wasser bis zum Magma vordringen könnte, stünde nach dem Ergebnis des Vorgesagten nichts im Wege[1]), wohl aber der Annahme, daß dann diese

[1]) Für die Vulkane von Hawaii nimmt James D. Dana das geradezu an, und der Druck des eindringenden meteorischen Wassers muß hier (wie auch anderswo) das Eindringen des Seewassers verhindern.

infiltrierenden Gewässer mit chemischen Lösungen beladen sein würden, und zwar aus denselben Gründen, die wir in dieser Hinsicht auch für das Meerwasser geltend gemacht haben, nämlich, weil das Wasser doch wohl nur in dampfförmigem Zustand auf den glutigen Brei stoßen könnte, dann aber außerstande sein würde, noch Stoffe in Lösung zu enthalten, es sei denn, daß wir für diese letzteren auch eine gasförmige Diffusion durch die trennenden Gesteinsschichten hindurch in das Magma zuzugeben vermöchten. Spekulationen über diesen Gegenstand wären müßig und unnötig, bleibt es uns doch frei, der sich hier entgegenstellenden Schwierigkeit ganz einfach durch die Annahme aus dem Wege zu gehen, daß die in Frage stehenden Stoffe schon von vornherein im Magma absorbiert gewesen sind. Und diese Annahme ist schon früher aufgestellt und in allerjüngster Zeit wieder besonders hervorgehoben worden. „Wenn die Ursache der vulkanischen Eruptionen einzig in dem eindringenden Wasser und in dem heißen Erdinnern läge, so würde noch nicht einzusehen sein, woher die Unregelmäßigkeit und die große Seltenheit der Eruptionen kommt. Auf der einen Seite wirkt das Wasser, welches beständig in die Tiefe dringt, kontinuierlich, ebenso ist die zweite Ursache eine kontinuierliche. Auf der andern Seite aber erfolgen die vulkanischen Eruptionen diskontinuierlich, selten und unregelmäßig. Den angenommenen Ursachen zufolge könnte das Resultat von zweierlei Art sein. Die vulkanischen Eruptionen müßten entweder kontinuierlich sein, es müßten auf den vulkanischen Spalten beständige Ausbrüche erfolgen, und es wäre ein großartiger vulkanischer Kreislauf des Wassers hergestellt, solange das Erdinnere heiß bleibt, oder die Eruptionen müßten periodisch erfolgen, indem die Periodizität von der Schwerkraft veranlaßt wurde, wie bei dem Geysir-Phänomen.

Weder das eine noch das andre trifft zu, und gegenüber der Riesengröße der angenommenen wirkenden Ursachen ist dasjenige, was von der Erde durch die vulkanischen Eruptionen

geleistet wird, ein zu geringer Betrag, daß dieses Mißverhältnis allein zur Genüge zeigt, daß der Zusammenhang kein direkter sein könne."

Dies hat der bekannte Mineraloge Tschermak in Wien in einer klassisch gewordenen kleinen Abhandlung: „Über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung"[1]) ausgesprochen und seinerseits eine bessere Erklärung für die vulkanischen Phänomene in dem gefunden, was er die „Emanationstheorie" nennt. Diese leitet die vulkanischen Erscheinungen von der Tätigkeit solcher Gase und Dämpfe ab, welche ganz direkt aus dem Innern des Planeten hervorströmen. Der Gedanke wurde nach dem genannten Gelehrten bereits in sehr einfacher Form im Altertum gehegt und später zuweilen wieder in den Vordergrund gestellt, aber derselbe ist erst 1842 durch Angelot etwas ausführlicher entwickelt worden. Der französische Geologe A. de Lapparent und der Österreicher E. Reyer haben diese Lehre dann verfochten und mit triftigen Gründen gestützt, und in allerjüngster Zeit ist Eduard Sueß[2]) wieder damit auf den Plan getreten, nachdem bereits einige Jahre vorher sein Sohn Franz anläßlich einer Besprechung der Thermen und Geysire, welche die aktiven Vulkane so häufig begleiten, geäußert hatte, daß über deren Ursprung wohl kein Zweifel bestehen könne. „Sie machen unmittelbar den Eindruck von kondensierten heißen Dämpfen, welche ebenso wie die übrigen verschiedenartigen Gasexhalationen in tieferen Regionen einem noch flüssigen Magma entströmen."

Alle Teile der Hydrosphäre, Ozeane und Flüsse, Wolken und Niederschläge, bezeichnet der ältere Sueß, darin einem Vorschlage Posepnys folgend, als **vadoses Wasser.** Vadoses

---

[1]) Sitzungsbericht d. k. k. Akademie der Wissenschaften in Wien. 75. Bd., 1. Abt., März-Heft 1877. Wien 1877.

[2]) Über heiße Quellen. In: Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte 1902, Allgemeiner Teil. Leipzig 1902.

Wasser ist das in den Erdboden einsickernde, das infiltrierende, auch dann, wenn es in so große Tiefen hinabsteigt, um als erwärmtes Wasser, als Therme wieder heraufzukommen.

„Der Wasserdampf der Vulkane," sagt Eduard Sueß, „kann nicht von vadoser Infiltration stammen; von der Kohlensäure ist solche Infiltration von vornherein ausgeschlossen. Woher stammen sie also? Sie stammen aus den tieferen Innenregionen des Erdkörpers, **und sind die Äußerungen einer Entgasung des Erdkörpers,** welche seit der beginnenden Erstarrung desselben begonnen hat und heute, wenn auch auf einzelne Punkte und Linien beschränkt, noch nicht völlig abgeschlossen ist. Auf diese Weise sind die Ozeane und ist die gesamte vadose Hydrosphäre von dem Erdkörper abgeschieden worden. **Nicht die Vulkane werden von Infiltrationen des Meeres gespeist, sondern die Meere erhalten durch jede Eruption Vermehrung.**"

Das Entweichen von Wasserstoff aus dem Vulkanschlot ist eine feststehende Tatsache. In den höheren Regionen der vulkanischen Esse tritt dieses Gas mit der Atmosphäre in Berührung, und es entsteht Wasser. „Den vadosen Wassermengen der Erdoberfläche gesellen sich auf diesem Wege neue Mengen zu, die jetzt erst und vor unsern Augen an das Tageslicht gelangen, **und die als juvenile Wasser zu bezeichnen sind.** Alles vadose Wasser ist einmal juveniles gewesen, ist es aber vados, so kann es selbstverständlicherweise nicht mehr in den juvenilen Zustand zurückkehren. Wir werden später noch sehen, von welcher weittragenden Bedeutung diese Lehre, die Emanationstheorie, für die Auffassung und Erklärung noch andrer, zum Vulkanismus gehöriger und mit dessen Erscheinungen im engeren Sinne innig verbundener Dinge ist.

Eduard Sueß ist in der Anwendung und im Ausbau der Emanationstheorie wesentlich weiter gegangen, als Tschermak,

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

der neben dem Vorgang der Gasentwicklung aus dem Erdinnern auch den in die Tiefe eindringenden und einsickernden Gewässern eine aktive Rolle bei den vulkanischen Phänomenen zuschreibt. Nicht aller Wasserdampf der Vulkane ist von der Verbrennung absorbiert gewesenen Wasserstoffes abzuleiten, sagt der letztere, sondern die Vorstellung von dem Hinabsinken der Wässer bis zur heißen Tiefe bleibt aufrecht, und macht uns jene Vorgänge deutlich, bei welchen nicht mehr Gase und Dämpfe die Hauptrolle spielen.

Der französische Forscher De Launay, welcher unter anderem auch ein äußerst geistvolles und fundamentales Werk über die warmen Mineralquellen geschrieben hat[1]), hält darin inbetreff des von den Vulkanschloten ausgestoßenen Wasserdampfes die Emanationstheorie nicht für die richtige und will dieselbe im wesentlichen nur auf die reduzierenden Metalle und Metalloide angewendet wissen, die gleichzeitig mit dem Wasser aus den Feuerbergen in die Atmosphäre gelangen. Für die Herkunft des Wassers ist seiner Ansicht nach nur Infiltration der maßgebende Faktor.

Von diesen, zusammen mit dem vulkanischen Wasser an die Erdoberfläche kommenden Gasen und Dämpfen ist in unseren Auseinandersetzungen schon hier und dort etwas die Rede gewesen. Es sind im allgemeinen Schwefelwasserstoff, schwefelige Säure, Schwefeldampf, Chlorwasserstoff, Kohlensäure, Bor, Fluor, Phosphor, usf., die, vollends bei Entzündungen, sich gegenseitig zersetzen und eine Reihe anderer chemischer Verbindungen hervorbringen können, welche in der Gestalt von Sublimationen abgesetzt werden. Daß man aus dem Vorkommen dieser Substanzen die notwendige Herkunft des Wassers im Vulkan aus dem Meer abgeleitet hat, darüber ist schon näheres gesagt worden, und es wurde gezeigt, daß diese Notwendigkeit vielleicht gar nicht vorliegt, ja aus gewissen Gründen sogar abgewiesen

[1]) Recherche, Captage et Aménagement des Sources Thermo-Minérales, Paris, 1899.

werden muß. Die Ansicht, welche die aus dem Vulkanschlot aufsteigenden Gase und Dämpfe — vom Wasserstoff, resp. Wasserdampf hier abgesehen — als ursprüngliche und integrierende Bestandteile des Magmas, als die Folgen einer fortdauernden Entgasung des Planeten ansehen will, wird von De Launay, von Lapparent, von Reyer und von einer Reihe anderer der namhaftesten und kompetentesten Gelehrten vertreten, und auch Eduard Sueß hat dieselbe zu seiner eignen gemacht. „Vadose Zutaten mögen also untergeordnete sein oder Beirrungen veranlassen, aber das Wesen der Erscheinung beruht auf dem Auftrieb juveniler Stoffe, dem „apport interne" oder Zutrag aus der Tiefe." Gerade so, wie es juveniles oder vadoses Wasser gibt, so gibt es beispielsweise juvenile und vadose Kohlensäure oder juveniles und vadoses Kochsalz. „Das Meer erscheint uns nicht mehr als der abgebende, sondern als der empfangende Teil, und wir verstehen leichter die allerdings auffallende Übereinstimmung einer Anzahl von Stoffen im Meere und in den juvenilen Thermen. Die Salze des Meeres sind heute vados, sie sind jedoch einmal juvenil gewesen. Aber nicht nur das Meer empfängt juvenile Bereicherung, sondern auch die Atmosphäre." Die Kohlensäure, die an den verschiedensten Stellen unsrer Erde aus dem Boden entweicht, vermehrt den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre, sofern sie nicht von den Pflanzen aufgenommen wird. Unnötig noch weiter auszuführen, daß ein Teil dieser Kohlensäure zweifellos vadoser Natur ist, zumal dieses Gas auf sehr verschiedene Weisen innerhalb des Felsgerüstes der Erde sich bilden kann. Aber dort, wo diese Kohlensäure-Exhalationen mit vulkanischen Erscheinungen in Verbindung stehen, dort, wo dieselben der letzte Nachhall dieser Phänomene sind, dort ist die Kohlensäure juveniler Natur[1]).

[1]) Über diese Dinge hat in neuerer Zeit auch Dr. Rudolf Delkeskamp interessante Arbeiten veröffentlicht, so: Vadose und juvenile Kohlensäure, in: Zeitschrift für praktische Geologie, Berlin, 1906.

Weiter oben haben wir bereits erläutert, von welcher Wichtigkeit die vulkanischen Vorgänge für den Haushalt der Natur sind, insofern, als sie verhindern, daß der Wasserverlust der Erdoberfläche ein andauernd größerer wird. Wenn wir die Möglichkeit gesehen haben, daß diese segensreiche Wirkung der vulkanischen Dinge für das gesamte organische Leben auf der Erde schon allein durch die Infiltration des feuchten Elementes von oben her bis zum Magma, also durch die Bergfeuchtigkeit und ihre Folgen veranlaßt werden kann, so haben wir im juvenilen Wasser noch einen diese Wirkung ungemein steigernden Faktor, eine weitere und noch größere Garantie dafür, daß der Augenblick, in dem unser Gestirn als blut- und lebensloser Körper ähnlich wie sein Trabant, der Mond, einmal im Weltenraume dahinziehen wird, noch lange nicht gekommen ist.

Nun ist es ja leicht, die Behauptung aufzustellen, daß die Gase und Dämpfe, von denen wir soeben gesprochen haben, Emanationen des glutigen oder in überhitztem gasförmigen Zustande befindlichen Erdinnern seien, und die Frage liegt hier nahe: kann das denn auch bewiesen werden?

Um die dieser Anschauung zugrunde liegenden Dinge auseinandersetzen zu können, müssen wir vorher eine kleine Abschweifung vom eigentlichen Thema dieses Abschnitts machen und etwas antizipieren.

Wenn ein Vulkan aus dem Zustande heftiger Eruptionstätigkeit getreten ist, so hört nicht jede Äußerung der ihn treibenden unterirdischen Kräfte auf, sein Mechanismus steht nicht plötzlich stille, sondern die Maschine bewegt sich noch immer fort, wenn auch zuweilen auf ihren geräuschvollen Gang während des Ausbruchsaktes eine ganz leise und manchmal nur schwer zu perzipierende Bewegung folgt. Der Unterschied zwischen einem tätigen und einem erloschenen Feuerberg im weiteren Sinne genommen besteht eben darin, daß bei dem

ersteren vulkanische Kräfte sich noch betätigen, einerlei, ob in auch noch so geringem Maße, während sie beim letzteren gänzlich abgestorben sind. Es ist selbstverständlich schwer, hier eine scharfe Grenze zu ziehen, denn so mancher Vulkan, den wir als erloschen betrachten, gerade weil wir auch nicht mehr das leiseste Tiktak des treibenden Uhrwerks in ihm vernehmen können, ist vielleicht dennoch lebendig, und die Kräfte in seinem Innern schlummern nur, während wir dieselben für tot ansehen. Ein bekanntes und viel angezogenes Beispiel hierfür liefert die Geschichte des Vesuv, dessen unheimliche Natur vor dem 23. August 79 v. Chr. eigentlich gar nicht erkannt worden war, weil er, soweit Menschengedenken reichte, sein umstürzlerisches Wesen nicht mehr in irgendwelcher wahrnehmbarer Weise geoffenbart hatte. Man kann von einem Feuerberg aus jüngeren geologischen Zeiten kaum jemals ganz bestimmt sagen, daß er abgestorben, daß er erloschen sei, denn es könnte ja doch einmal der Fall sein, daß seine, zwar unsrer Beobachtung sich entziehenden, darum aber dennoch vorhandenen feinen Pulsschläge sich in gewaltige Aufwallungen umändern und wiederum eine neue und intensive Eruptionstätigkeit heraufbeschwören würden.

Mag dem nun sein, wie es wolle, wenn der Vulkan aus dem Zustand erhöhter Tätigkeit in einen solchen relativer Ruhe tritt, so ändert sich meist die Art und das Mengenverhältnis der seinem Schlote entströmenden Gasmassen. Während des Eruptionsvorganges sind die Mehrzahl der oben erwähnten Substanzen in seinen Exhalationen zu beobachten, hört dieser aber auf, so gibt der Berg zwar immer noch Gase und Dämpfe von sich, dieselben nehmen aber insofern einen andern Charakter an, als nunmehr Schwefelwasserstoff und schwefelige Säure, vermischt mit Wasserdämpfen das Übergewicht über die bisherigen und jetzt zurücktretenden Verbindungen erhalten. Man nennt ein derartiges Stadium in der Lebensäußerung eines Vulkans seine Solfatarentätigkeit, nach einem typischen Vorkommen

für diese Erscheinung, nach der Solfatara bei Pozzuoli (Fig. 11) in den Phlegräischen Feldern bei Neapel, einem Feuerschlund, der sich andauernd in einer solchen Phase befindet und in historischen Zeiten, von einer einzigen und geschichtlich nicht völlig erwiesenen Explosion im 12. Jahrhundert abgerechnet, keine Ausbrüche gehabt hat.

Fig. 11. Die Solfatara von Pozzuoli gegen Ende des vorigen Jahrhunderts.

Wenn man den Stellen im Krater der Solfatara von Pozzuoli, an welchen die heißen Gase und Dämpfe entweichen, den Fumarolen (Fig. 12) irgendeinen brennenden oder glimmenden Gegenstand nähert, erfolgt spontan eine starke Vermehrung der ausgestoßenen Dampfmassen. Fig. 13 zeigt eine erst in den jüngstverflossenen Jahren entstandene neue kleine Fumarole, welche durch einen Mann mit brennender Fackel derartig „gereizt“ wird. Sobald dieses geschieht, zeigt sich

nicht nur an der gereizten Fumarole selbst, sondern auch an allen übrigen Fumarolen im Krater und an dessen Gehängen

Fig. 12. Die große Bocca (Fumarole) der Solfatara von Pozzuoli im Dezember 1906.

eine ungemein verstärkte Dampfentwicklung, und besonders großartig ist die Wirkung, wenn dieses Experiment an der

Fig. 13. Eine kleine neuentstandene Fumarole der Solfatara von Pozzuoli im Dezember 1906.

großen Fumarole (Fig. 12) ausgeführt wird, wie die beiden nach Originalaufnahmen des Verfassers gefertigten Figuren 14 und 15 zu erkennen geben.

Die Ursache dieses ganzen Vorgangs ist jedenfalls wohl die Bildung und Entzündung eines langsam explodierenden Gases; bei der Explosion wird viel Wärme frei, welche die Expansionskraft der Gase um ein bedeutendes erhöht. Da nun

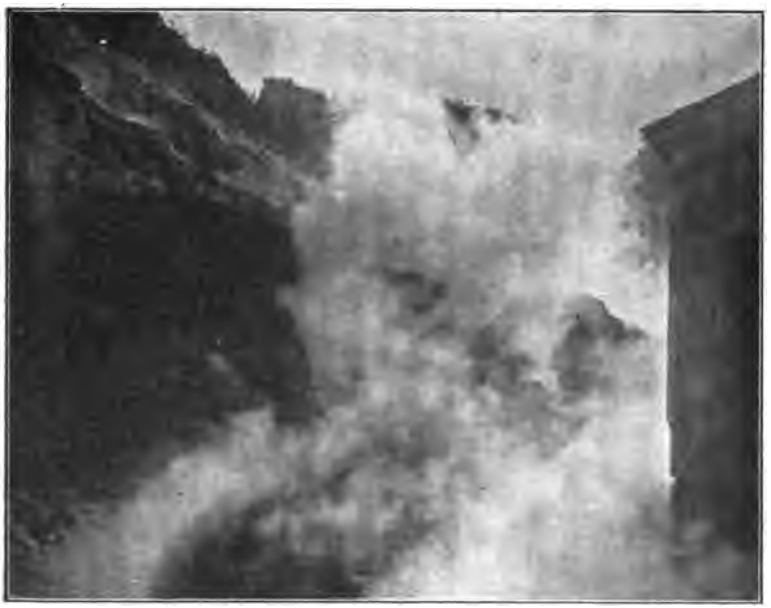


Fig. 14. Die große Bocca des Solfatara von Pozzuoli in gereiztem Zustand.

die kapillaren Hohlräume im lockeren Gestein des Kraterbodens der Solfatara ein ungemein verzweigtes Kanalsystem im Erdreich bilden, durch das die einzelnen Fumarolen miteinander in Verbindung stehen, so läßt sich leicht erklären, daß die Dampfvermehrung bei der einen auch dieselbe Erscheinung bei den übrigen hervorbringen muß. Nach der Ansicht De Lorenzo's soll diese Dampfvermehrung darin begründet sein, daß die beim Verbrennungsprozess des Exzitators (brennendes Reisig, Fackel,

Papier usf.) in die Lüfte hinaufgewirbelten winzigen Kohlepartikelchen eine Kondensation der Dämpfe in ihrer Umgebung bewirken. Dieselbe Ursache, wie die künstliche Erzeugung von Regen beim Wetterschießen. Aber wenn das zuträfe, so müßte sich die vergrößerte Dampfentwicklung nur auf die gereizte Fumarole beschränken und könnte nicht gleichzeitig und in

Fig. 15. Die große Bocca du Solfatara von Pozzuoli in gereiztem Zustand. Zwischen den photographischen Aufnahmen, welche den Figuren 14 und 15 zugrunde liegen, lag eine Intervalle von einer halben Minute.

gleicher Stärke bei den übrigen auftreten[1])! Eine Solfatara, die aber neben den vorerwähnten Substanzen, auch noch Bordämpfe von sich gibt, ist der Vulkan von Vulcano (Fig. 16) auf den Liparen, der berühmte Chillan in Chile ist ein weiteres Beispiel hierfür. Daß der Solfatarenzustand hin und wieder einem erneuten Paroxysmus des Vulkans Platz machen kann, um nach dessen Be-

[1]) H. Haas, Über die Solfatara von Pozzuoli. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie, usf., 1907, II.

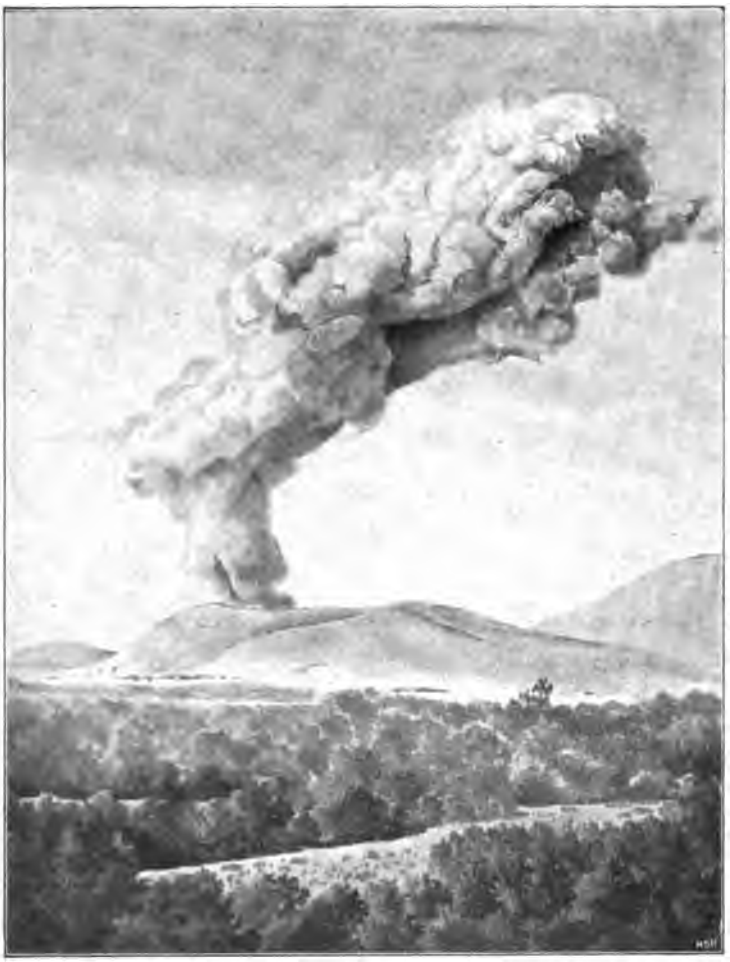


Fig. 16. Der Vulkan auf Vulcano im Ausbruch.
(Nach Johnston-Lavis.)

endigung wiederzukehren, das braucht wohl des weiteren nicht mehr ausgeführt werden[1]).

Ist dieses letztere aber nicht der Fall, tritt statt eines nochmaligen größeren Ausbruchs eine weitere Verminderung in der vulkanischen Kraftäußerung auf, einerlei aus welchen Ursachen, so verschwindet auch der Solfatarenzustand mit der Zeit und geht allmählich über in die Mofettentätigkeit, bei der die Emanationen von Kohlensäure die Hauptrolle spielen. Die bekannte Hundsgrotte unweit Pozzuoli am Meerbusen von Neapel ist eines der drastischsten Beispiele hierfür, in Deutschland (Eifel, Wetterau), in Böhmen, in der Auvergne, fast in allen jüngeren Vulkangebieten unsrer Erde sind andre dafür in großer Zahl zu finden.

Mit dem Verschwinden der Mofettentätigkeit hört jede für uns äußerlich greifbare Tätigkeit im Vulkan auf. Ob dieselbe dennoch zuweilen nicht eine latente und für uns nicht wahrnehmbare sein kann, darüber haben wir soeben einiges bemerkt.

Dieselbe Reihenfolge im Charakter und in der Art seiner Exhalationen, die ein Vulkan in zeitlichem Sinne zeigt, zeigt er auch in örtlichem. Wenn wir einen soeben aus dem Feuerberg ausgebrochenen Strom glutiger Lava betrachten, so sehen wir, wie aus den Rissen und Spalten der Schlackenkruste, die

---

[1]) Äußerst interessante Beobachtungen über den Zusammenhang der Solfataren und Thermen verdanken wir in jüngster Zeit dem Herrn Dr. Hans Spethmann, dem bereits rühmlichst bekannten Erforscher Islands und dem Begleiter Wilhelm von Knebels auf dessen verhängnisvoller Reise in das genannte Inselland. Sobald nämlich Solfataren in einem mit Wasser (Oberflächenwasser oder hochstehendes Grundwasser) gesättigten Gebiete auftreten, verwandeln sie sich dort in warme Quellen oder Schlammpfuhle, „eine Tatsache die von Knebel sehr prägnant in die Worte zusammengefaßt hat: „Die Thermen können wir als im Grundwasser ertrunkene Solfataren, die Solfataren aber als trockene Thermen auffassen." (Beiträge zur Kenntnis des Vulkanismus am Mückensee auf Island, in: Globus, 96, No. 13, Oktober 1909.) Diese Ansicht Knebels dürfte aber nur in sehr bedingtem Maße richtig sein, worauf Spethmann unter Bezugnahme auf die Ausführungen von Delkeskamp, Fortschritte auf dem Gebiete der Erforschung der Mineralquellen (in: Zeitschrift für praktische Geologie, 16. Jahrg., Heft 10, Oktober 1908) hingewiesen hat.

sich sofort als Überzug über dem dahinfließenden Gesteinsbrei gebildet hat, Dämpfe entweichen, (Fig. 17) deren Natur man dank der präzisen, mühsamen und gefährlichen Untersuchungen einer Anzahl von Forschern, unter denen sich die Franzosen Fouqué und Deville zuerst rühmlich hervorgetan haben, ziemlich genau kennt. Zunächst der Ausflußöffnung der Lava, dort, wo diese am heißesten ist, treten die wasserfreien Gasemanationen, die trockenen Fumarolen auf, deren Temperatur annähernd 1000° C. erreicht und deren chemischer Charakter bedingt wird durch das Überwiegen von wasserfreien Chlorver-

Fig. 17. Fumarolen auf der Lava vom Vesuv, April 1906.

bindungen, darunter in erster Linie Chlornatrium. Fluor, Phosphor und Brom sind gleichfalls darin nachgewiesen. Die Fumarolen dieser Kategorie am Vesuv enthalten bis zu 94,30 Prozente dieses ersterwähnten Stoffes.

Weiter abwärts auf dem Lavastrome, dort, wo die Temperatur seiner Dämpfe nicht mehr eine so intensive ist, wie am ersten Beobachtungspunkte, strömen Dämpfe anderer Zusammensetzung aus, und zwar salz- und schwefeligsaure, mit gewaltigen Mengen von Wasserdämpfen vermischt, und zwar in einem Verhältnis von 1 Teil dieser sauren Gase auf 1000 Teile

Wasserdampf. Trotzdem die schwefelige Säure sich durch ihren erstickenden Geruch in diesen Fumarolen besonders hervortut, ist die Salzsäure ihr gegenüber dennoch im Übergewicht, und zwar im Verhältnis von 10 zu 1. Auch Arsen ist aus diesen Emanationen nicht selten bekannt geworden. Die Temperatur dieser sauren Fumarolen schwankt zwischen 400 bis 500°.

Noch weiter abwärts treffen wir auf die ammoniakalischen oder alkalinischen Fumarolen, deren Wesen durch das Vorherrschen des salzsauren Ammoniaks bedingt wird, das sich teilweise in freies Ammoniakgas umwandelt. Daneben treten ungeheure Massen von Wasserdämpfen und von Schwefelwasserstoff auf. Ihre Temperatur kann ebenfalls 4—500° hoch werden.

Dem Ende des Lavastroms noch näher finden wir die kalten Fumarolen, fast nur aus reinem Wasserdampf bestehend und etwa 5 Prozente Kohlensäure und Schwefelwasserstoff enthaltend, bei einer Temperatur von weniger als 100°. Kohlensäure, das sei hier betont, kennt man übrigens auch schon in den heißesten, den trockenen Fumarolen[1]).

Als äußerste Vorposten der Gasexhalationen aus der Lava erscheinen endlich die fast reinen Kohlensäurefumarolen, die Mofetten. Fumarolen, welchen große Mengen von Borsäure entströmen, sind ebenfalls bekannt, so in der Toskano zu Sasso und Laderello, (Soffioni) und auf Vulcano. An diesen Ort hat die Ausströmung der genannten Substanz Veranlassung zu ihrer Gewinnung gegeben.

---

[1]) Die Zahl der Elemente, welche in den Exhalationen des Vulkans vorkommen, resp. bis heute bekannt geworden sind, dürfte mindestens die Hälfte aller bislang entdeckten betragen (Aluminium, Argon, Arsen, Blei, Bor, Cäsium, Calcium, Chlor, Eisen, Fluor, Jod, Kalium, Kobalt, Kohlenstoff, Kupfer, Lithium, Magnesium, Mangan, Molybdän, Natrium, Nickel, Phosphor, Quecksilber (?), Rubidium, Sauerstoff, Schwefel, Selen, Silicium, Stickstoff, Tellur, Thallium, Titan, Wasserstoff, Wismut, Zink, Zinn, Zirkonium). Die Zahl wird noch größer, wenn man die pneumatolytischen (durch vulkanische Gase abgesetzten) Bildungen der Tiefengesteine berücksichtigt. (Bergeat, Betrachtungen über die stoffliche Inhomogenität des Magmas im Erdinnern. In: Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München, III, 2, 1908).

Alle Fumarolen enthalten auch eine gewisse Menge von atmosphärischer Luft, wie aus dem Vorhandensein von freiem Stickstoff und Wasserstoff zu erkennen ist. Bei den trockenen Fumarolen ist das Mengenverhältnis dieser beiden Gase das gleiche, wie in der Luft, bei den sauren überwiegt der Stickstoff, und dasselbe beobachtet man bei den alkalinischen. In den Mofetten tritt dies noch auffälliger zutage; hier kommen nur 19,4 Teile Sauerstoff auf 80,6 Teile Stickstoff.

Man hat diese zeitliche und örtliche Aufeinanderfolge im Gesamtcharakter der vulkanischen Ausströmungen gas- und dampfförmiger Substanzen nicht etwa so aufzufassen, daß stets ein anderes Element an Stelle eines in der vorhergegangenen Phase darin vorhandenen in den Fumarolen auftritt. Vielmehr liegt die Sache so, daß die exhalierten Gase und Dämpfe schon in den heißesten Fumarolen zu finden sind, aber von den für diese bezeichnenden und vorherrschenden zurückgedrängt werden und sich daher weniger oder scheinbar auch gar nicht bemerkbar machen können. Nach und nach verschwinden die für die erste Kategorie der Fumarolen maßgebenden Stoffe, wie beispielsweise in den heißen die Chlornatriumdämpfe, weil bei sinkender Temperatur diese Substanz nicht mehr in flüchtigem Zustand bestehen kann, und weichen dann andern, die ihrerseits eine Zeitlang und für die von der Temperatur gestattete Dauer dominieren; es werden also aus den trockenen Fumarolen saure, und so geht das in der geschilderten Reihenfolge immer weiter.

Hört der Nachschub von frischer Lava aus dem Vulkanschlot auf, so verwandelt sich mit der Zeit die trockene Fumarole in eine saure, dann in eine ammoniakalische, und so fort, es kommt also auch hier wieder die zeitliche Aufeinanderfolge zum Ausdruck.

In Gegenden, in denen in früheren geologischen Perioden einmal vulkanische Kraft in intensiver Weise entfaltet war und auch in der Gegenwart noch, wenn auch in sehr abgeschwächtem Maße tätig ist, kann man Ähnliches beobachten, wie bei den

Exhalationen noch stark arbeitender Feuerberge. Eine solche Gegend ist das nördliche Böhmen, das Gelände am südlichen Fuße, am Steilabfall des Erzgebirges, das durch den Austritt einer Reihe heißer Quellen berühmt geworden ist, Marienbad, Karlsbad, Teplitz mit ihren teilweise siedend warmen Wassern. Auch die in der weiten Welt bekannten und vielgetrunkenen Säuerlinge von Gießhübel und Bilin dringen hier zum Labsal der leidenden und nach erquickendem Naß dürstenden Menschheit sprudelnd aus dem Erdreich. Das Gebirge, an dessen Gehängen die Linie der genannten Thermalbrunnen entlang zieht, die böhmische Thermalspalte, wie man sie genannt hat, hat seinen Namen von den Erzmassen erhalten, die es in seinem Schoße birgt. Daß zwischen den Klüften, auf welchen die Erze abgesetzt wurden, und den heißen Quellen ein Zusammenhang besteht, das hatte man schon vor längerer Zeit erkannt, und bereits vor mehr als 40 Jahren hat Hermann Müller in Freiberg auf diese Erscheinung hingewiesen. Wenn wir nun die verschiedenen Erzlagerstätten in der Umgebung der Thermalspalte näher betrachten, so finden wir sehr verschieden ausgebildete, solche die einen unverkennbaren Absatz aus heißen Wassern darstellen und auf Klüften und Spalten erscheinen, die gangförmig auftretenden, und wiederum andere, welche dampfförmigen, metallhaltigen Exhalationen, oder vielleicht richtiger gesagt, einer Mischung von heißen Lösungen und Dämpfen ihre Entstehung zu verdanken haben, einer Sublimation. Zu dieser Sorte gehören die so ungemein wertvollen Zinnerzlager von Schlackenwald, Altenberg und Zinnwald im Norden der Thermalspalte und in deren unmittelbarer Nachbarschaft, auch die Zinnerzlagerstätten von Cornwall sind auf ähnliche Weise ins Dasein gerufen worden. „Erinnern wir uns," sagt Eduard Sueß, „nun zuerst daran, daß die heißesten Fumarolen der Vulkane trocken sind; ihre Absätze müssen daher die Merkmale von Sublimationen haben. Alle späteren, namentlich auch schon die sulfidischen Fumarolen (also die sauren), sind von Wasserdampf begleitet, und ihre

Ablagerungen werden geschichtet oder zonenförmig übereinander gelagert sein können; in der Reihenfolge dieser letzteren Absätze kommt in erster Linie die leichtere Löslichkeit der Verbindungen im Wasser zum Ausdruck."

Die Sublimationserscheinungen der heißen Fumarolen sind nun, beiläufig erwähnt, klar erwiesen. Überall, wo dieselben aus der Lava aufsteigen, überziehen sie die Oberfläche der benachbarten Massen mit einem weißlichen Überzug von Chlornatrium.

Kehren wir wieder zu den sublimierten Zinnerzvorkommnissen zurück! Durch die geistvollen Ausführungen Daubrées wissen wir, daß dieselben erzeugt worden sind durch die Ausströmungen von Chlor, Bor und Fluor, „also von solchen, welche heute die trockenen heißesten Fumarolen kennzeichnen." Der große französische Geologe hat das experimentell dargetan und aus flüchtigen Verbindungen Zinnstein herzustellen vermocht „Die Zinnerzvorkommnisse gehören den äußeren Teilen, gleichsam der Schale der Granitmasse an, auf der wir uns befinden, und deren Fortsetzung in größeren und kleineren Kuppen im östlichen Erzgebirge hervortritt. Flußspat, Topas, Turmalin, schwarzer Glimmer begleiten sie, und die Sublimationen sind an nicht wenigen Stellen über den Granit hinaus in die benachbarten Felsarten eingetreten."

Sueß weist ferner auf die Solfatara von Vulcano auf den Liparen hin, aus der man Borsäure und Chlorammonium gewonnen hat, und in deren Absätzen der uns schon des näheren bekannte Forscher Bergeat fast alle bezeichnenden Elemente unserer Zinnerzlagerstätten anführen konnte, so Lithium, Zinn, Wismut, Bor, Phosphor, Arsen und Fluor. Mustert man diese Mineralien und zieht dann in zweiter Linie die Anwesenheit von Kupfer und Schwefel in Betracht, die ebenfalls aus dem Krater von Vulcano aufsteigen, so wird man „an die Zinnerzformation von Altenberg-Zinnwald und die Kupfer-Zinnerzformation von Cornwall erinnert, deren Genesis seinerzeit Daubrée in sc

geistreicher Weise mit dem Empordringen saurer Gesteinsmagmen (Granit) in Verbindung gebracht hat," sagt dieser gründliche Kenner der Äolischen Inselgruppe.

Die Zinnerzlagerstätten reichen nicht in große Tiefen hinab, meistens wohl nur wenige hundert Meter in den Granit hinein, dann „verstauben" sie, wie es in der Bergmannssprache heißt. Aber an mehreren Stellen kann man dann als Ersatz für sie in der Tiefe sulfidische Erze beobachten, zumeist Kupferkies (Cu, Fe, S^2) und Zinkblende (Zn S), dann oftmals auch Arsenkies (Fe S^2, Fe As^2) so daß der Mann vom Leder von einem zinnernen Hut über den sulfidischen Gängen redet. „Die Zinnerzlagerstätten deuten also auf die heißesten, in der Temperatur jenseits der thermalen und in ihrem überwiegenden Teile sulfidischen Phasen der Gangbildungen. Die Vertreter der allerjüngsten Phase der langen Reihe überaus mannigfaltiger Vorgänge, aus denen die heutigen Erzgänge hervorgingen, sind im Gegensatz hierzu die Thermen, die man da und dort auf den Gängen erschrotet hat." Es sind meist alkalinische und an Chlornatrium auffallend reiche Quellen. Auch Kohlensäure-Exhalationen hat man auf solche Weise angetroffen.

Der in neuerer Zeit von fachkundiger Seite aus gemachte Versuch, die Entstehung der Erzgänge durch Auslaugung des Nebengesteins, durch die sogenannte Lateralsekretion zu erklären, kann, so meint der genannte Wiener Geologe, genauer Prüfung hier nicht standhalten. Die Füllung der erzführenden Klüfte ist ohne Zutrag aus der Tiefe nicht erklärbar. Ähnlich verhält es sich mit den Thermen von Karlsbad, deren Zusammenhang mit Gängen durchaus klargestellt worden ist. „Am Vesuv konnten wir wegen der Nähe des Meeres anfänglich im Zweifel bleiben, ob das Kochsalz nicht aus einer marinen Infiltration stamme. Aber hier, mitten im Festlande, findet man das Kochsalz wieder, sowohl in Thermen, welche der Bergbau auf Erzgängen erschlossen hat, als auch in Karlsbad. Die aus der Tiefe stammenden Stoffe erscheinen in der Form der am leichtesten löslichen

Verbindungen, während andere, leichter sich abscheidende, namentlich metallische Verbindungen in der Tiefe zurückblieben.“ Die große Menge halbgebundener und freier Kohlensäure ist zweifellos juvenil. Sie entspricht, wie wir gesehen haben, einer späteren Phase vulkanischer Tätigkeit[1]). Zieht man nicht die Verbindungen, sondern die Elemente hier in Betracht, so sind auch die Anzeichen der übrigen Phasen vorhanden, so aus der heißesten Chlor, Fluor, Bor und Phosphor, während die Metalle dieser Phase (Zinn, Wismuth usf.) fehlen. Schwefel, Selen, Thallium, Rubidium und Caesium, die Begleiter der sulfidischen Vorkommnisse in verschiedenen Vulkanen, und namentlich in Vulcano, sind neben Arsen und Antimon in den Karlsbader Thermen erkannt worden, letztere die gewöhnlichen Begleiter der sulfidischen Erze, und dann auch, als Spur dieser Erze selbst, das Zink. Die Ameisensäure, die Fouqué in den Fumarolen des Vulkans von Santorin gefunden hat, fehlt ebenfalls nicht.

Bezüglich der Herkunft gewisser anderer, in den Karlsbader Thermen enthaltener Stoffe kann man geteilter Meinung sein, als Natrium, Kalium, Lithium, Calcium, Magnesium, Strontium, Eisen, Mangan, Aluminium und Silicium zwar in den Erzgängen sowohl, als auch in den vulkanischen Emanationen vorkommen, daneben jedoch im Granit, aus dem die heißen Quellen entsprudeln, ebenfalls enthalten sind, also durch Auslaugung dieses Gesteins in das Thermalwasser aufgenommen sein können. „Bei der sonstigen Mannigfaltigkeit des Zutrags aus der Tiefe ist dies aber eine Frage zweiter Ordnung.“

„Versuchen wir nun, zusammenzufassen. Die Temperatur der Gase, welche in den Vulkanen aufsteigen, steht dem Schmelzpunkte der meisten irdischen Gesteine nahe oder übersteigt ihn, und diese Gase können daher nicht aus vadoser Infiltration hervorgehen.

Die heißesten Fumarolen sind trocken; Wasserdampf und thermale Lösungen gehören nachfolgenden Phasen an.

[1]) Delkeskamp, Vadose und juvenile Kohlensäure.

Der zinnerne Hut über sulfidischen Gängen des Erzgebirges entspricht der heißesten sublimierenden Phase solcher Thätigkeit; die anderen Gangausfüllungen, namentlich die sulfidischen Erze entsprechen späteren Phasen; die Thermen, welche heute auf den Erzgängen erschrotet werden, sind ein Nachklang. Ein Nachklang vulkanischer Thätigkeit sind auch, wenigstens hier, die zahlreichen Ausströmungen freier Kohlensäure, wie sich bis nach Schlesien aus ihrer räumlichen Verbindung mit der großen nordböhmischen Basaltzone ergibt.

Die heißesten trockenen Fumarolen, die durch Sublimation entstandenen Lagerstätten von Zinnerz, die salzsauren Regen des Vesuvs und das Kochsalz des Bergbaues von Altensalza, die heißen Dämpfe, welche kürzlich auf Martinique die Körper vieler Unglücklichen verbrannten, ohne doch die Kleider zu entzünden, und die heilbringenden heißen Wässer von Karlsbad sind Glieder einer einzigen untrennbaren Kette von Erscheinungen. Es ist die auch heute nicht völlig abgeschlossene Entgasung des Erdkörpers, ein Vorgang, welcher jenem gleicht, der sich in den Sonnenfackeln, sowie bei der Abkühlung jeder größeren Stahlmasse vollzieht (Sueß)."

Es ist eine bekannte Tatsache, daß diejenigen Eruptivgesteine, die einer so sehr raschen Abkühlung unterlegen sind, daß sie nicht auskristallisieren konnten, eine große Menge gasiger Substanzen eingeschlossen halten. Man kann das leicht experimentell nachweisen, indem man ein Stückchen Obsidian im Tiegel zum Erhitzen bringt, worauf dieses sich aufbläht und ein Mehrfaches seines ursprünglichen Volumens bekommt. Wenn man nun die infolge der Erhitzung aus dem Gestein befreiten Gase untersucht, so zeigt sich, daß es der Mehrzahl nach Wasserdämpfe und salzsaure Gase sind. Nun hat vor kurzem ein französischer Gelehrter, Armand Gautier[1]), die Ansicht ausgesprochen, daß wenn

[1]) A propos de la composition des gaz des fumerolles du Mont Pelé. Remarques sur l'origine des phénomènes volcaniques. In: Comptes-Rendus de

ein in der Erdfeste vorhandener Gesteinskörper aus irgendwelchen Gründen wieder in größere Tiefen hinabsinkt, er hier infolge der höheren Temperatur wieder zum Aufschmelzen gebracht wird, und daß alsdann die an ihn gebundenen Mengen von Wasser naturgemäß wieder frei werden müssen. Auf experimentellem Wege hat er diese Meinung zu beweisen versucht, indem er verschiedene Gesteine, die er zwar durch Erhitzen auf 200 ° C vollständig getrocknet und fein zerstoßen hatte, auf eine sehr hohe Temperatur brachte, um die dabei entweichenden Mengen von Wasserdampf und andern Gasen festzustellen. Ein auf solche Weise behandeltes Kilogramm Granit ergab ein demjenigen der Gesteinsmasse etwa 6—7 mal überlegenes Volumen von Gasen. Auf Grund dieser Ergebnisse müßte ein Kubikkilometer Granit mehr als 26 Millionen Kubikmeter Wasser enthalten, neben 7 Millionen Kubikmeter verschiedener anderer Gase, diese berechnet auf eine Temperatur von 15 ° C. Dieses Wasser kann aber keine Gebirgsfeuchtigkeit sein, weil ja das Gestein, bevor es dem Experiment unterzogen wurde, vollständig ausgetrocknet war, sondern in den Mineralien des Granits chemisch gebundenes Wasser. Die von Gautier aus dem Gestein herausgezogenen Gase bestanden aus freiem Wasserstoff (77 %), Kohlensäure (15 %) verschiedenen anderen Kohlenstoffverbindungen, Stickstoff und Argon, lauter Stoffe, die auch in den Fumarolen verschiedener Vulkane nachgewiesen worden sind. Durchaus ähnliche Resultate ergaben die Untersuchungen an anderen Tiefengesteinen. Gemäß dieser Versuche von Gautier würden für die Erklärung des Vorhandenseins großer Wasserdampfmassen in den Exhalationen der Vulkane weder die Annahme einer Infiltration vadosen Wassers von der Erdoberfläche her bis zum magmatischen Herd nötig sein, noch die Voraussetzungen der Emanationstheorie. Der Umstand, daß irgendein aus derartigen Gesteinen bestehendes Stück der Erd-

---

l'Académie des Scienas, 136, 1903. — Théorie des volcans. In: Bulletin de la Société Belge de Géologie 17, R. W. 1903. — La genèse des eaux minerales et ses rapports avec le volcanisme. In: Annales des Mines, 10ème série, IX, 1906.

feste wieder in größere Tiefen hinabsänke und dort einschmölze, müßte vollständig genügen, um diese Wasserdampfmengen zu erzeugen. Die Eruptionsperiode des Ätna im Jahre 1865 hat 200 Tage lang angedauert, und während dieses Zeitraumes hat der sizilianische Vulkan etwas mehr als 2 Millionen Tonnen Wasser von sich gegeben. Ein Viertelkubikkilometer eines in Umschmelzung befindlichen Tiefengesteins hätte also bereits gegenügt, um diese Wassermassen zu liefern!

Eine den vorerwähnten Dingen diametral entgegengesetzte Anschauung vertritt der Genfer Chemiker Albert Brun. Nach diesem Gelehrten ist der Vulkan wasserlos. Die weißen Dampfwolken der Feuerberge, auch solcher, die sich im Ruhezustand zwischen zwei Ausbrüchen befinden, sind gar keine Wasserdämpfe, sondern bestehen lediglich aus Exhalationen von sehr flüchtigen sauren Ammoniaksalzen. Allerdings schleudert der Vulkan bei Eruptionen auch Wasserdampfmassen aus. Aber diese kommen von vadosem Wasser her, das in die Gesteinsschichten des Berges bis zu gewissen Tiefen eingedrungen ist, um alsdann zusammen mit den eruptiven Materialien wieder ausgestoßen zu werden. Die Fumarolen sind nach Brun durchweg trocken, und wenn ihre Aushauchungen mit Wasserdämpfen vermischt sind, so ist der Grund hierfür auch nur das Hinzutreten von Oberflächenwasser. Wir möchten betonen, daß Brun nicht etwa nur durch theoretische Spekulationen zu solchen Ansichten gelangt ist; vielmehr hat der Genfer Forscher diesbezügliche eingehende Untersuchungen an verschiedenen tätigen Vulkanen Europas angestellt, auf die wir leider nicht weiter eingehen können [1]).

[1]) Quelques recherches sur le volcanisme. In: Archives des sciences physiques et naturelles, Genève, mai, juni 1905, novembre 1906.

Quelques recherches sur le volcanisme au Pico de Teyde et au Timanfaya, ibid., février 1908.

Le volcanisme. In: Le Globe, Journal géographique, 46. Bd., Genève, 1907, u. a. a. O.

Vierter Abschnitt.

Der Mechanismus des Vulkans.

a) Die treibende Kraft.

(Fortsetzung und Schluß.)

Über die Spannkraft der Dämpfe als Motor bei den vulkanischen Ausbrüchen. — Wasserreichere und wasserärmere Schlieren im Magma. — Contejeans Einwendungen gegen die Anschauung, die Spannkraft der durch vadoses Wasser erzeugten Dämpfe sei die Triebfeder der Eruptionen. — Lapparents Einwürfe gegen die Annahme vom Lavenauftrieb durch explodierende Dampfmassen. — Sueß' Ansicht, der Vesuv sei eine Form der Siedequellen. — Das Geysirphänomen. — Die strombolianische Tätigkeit. — Die Vulkantheorie von Svante Arrhenius. — Die Ursachen des Vulkanismus nach Stanislas Meunier. — Die Aufpressungslehre. — Stübels Meinung, die glutflüssige Materie sei selbst die Trägerin der vulkanischen Kraft. — Einwendungen gegen diese Lehre.

Das Vorhandensein von Wasser, resp. von den das Wasser bildenden Elementen im Magma und im Vulkanschlot ist, wenn wir von den im Vorigen erwähnten Anschauungen von A. Brun absehen wollen, wohl eine allgemein angenommene Lehre. Und welche gewaltige Massen von Wasser auf solche Weise aus den Tiefen der Erdoberfläche zugeführt werden, das mag beispielsweise der Umstand illustrieren, daß nach den Berechnungen von Fouqué der Ätna während seiner Eruptionsphase von 1865 täglich etwa 22000 kbm Wasserdampf von sich gegeben hat!

Gehen wir von der Ansicht aus, daß das vulkanische Wasser juveniler Natur ist, so können wir ihm die Rolle nicht zuschreiben,

die es bei den Anhängern der Lehre von der Meerwasser-Infiltration spielen soll. Diese besteht ja in der Annahme, daß beim Zusammentreffen des eingesickerten Wassers mit dem Magma Explosionen herbeigeführt werden, und die Ausbruchstätigkeit dadurch hervorgerufen wird. Aber, wie ganz richtig eingeworfen wurde, wenn das möglich ist, so wäre wirklich nicht einzusehen, warum das nicht andauernd geschehen sollte, warum die Explosionen der durch diesen Motor getriebenen Vulkane nicht kontinuierliche sind, statt nur sporadische, es sei denn, man hielte das plötzliche Aufklaffen von Spalten am Meeresgrunde für angängig, die dem Wasser in größerer Menge Zutritt zum Magma gewähren könnten, um sich nach kurzer Zeit wieder zu schließen. Wir haben diese Frage schon früher geprüft und uns aus einer Reihe von Gründen nicht für dieselbe erwärmen können, allerdings unter dem Zugeständnis, daß infolge von eruptiver Kraftäußerung im Vulkankegel oder in dessen Basis Risse entstehen können, durch welche dann, je nach der Lage des Vulkans, Wasser aus dem benachbarten Meere bis zu dem im Vulkanschlote aufsteigenden Magma hinzudringen imstande wäre. Wir betonen aber nochmals, daß ein solcher Vorgang eine Folgeerscheinung, nicht aber eine Ursache der Eruption sein würde.

Die Ansicht Reyers[1]), das Magma im Innern der Erde befinde sich infolge des hohen Druckes in starrem Aggregatzustande, würde jedoch ausbruchsfähig, sobald ersterer sich ändert, ist gleichfalls schon gewürdigt worden. Der Gasgehalt im Magma ist nach dem Ebengenannten nicht gleichmäßig verteilt, sondern es sind gasreichere und gasärmere Massen darin vorhanden, Schlieren. Lavamassen mit viel absorbiertem Wasser werden beim Abnehmen des Druckes zerstäubt, sobald sie der Erdoberfläche nahekommen, und diesen können wiederum andre folgen, die, weil sie viel weniger mit Wasser durchtränkt sind, sehr viel langsamer im Vulkanschlote aufsteigen werden. An-

[1]) Theoretische Geologie, Stuttgart, 1888.

knüpfend an diese Auseinandersetzungen Reyers äußert Bergeat die Ansicht, daß die Paroxysmen des Vulkans Stromboli auf eine plötzliche Entwicklung gewaltiger Dampfmassen zurückzuführen seien. „Gelangt eine an Wasser besonders reiche Schliere in den Vulkanschlot, so kann dieses in überhitztem Zustande bis in beträchtliche Höhe emporsteigen, ohne in Dampf überzugehen; es findet ein ähnlicher Vorgang statt, wie wir ihn bei dem stoßweisen Aufwallen der Schwefelsäure oder des Wassers wahrnehmen können, die wir in einem Glase kochen: eine Zeitlang vermögen wir die Flüssigkeiten zu überhitzen, bei geringer Erschütterung oder beim Umrühren tritt eine heftige, oft explosionsartige Blasenentwicklung ein. Ähnlich mag es sich bei den mit überhitztem Wasser durchtränkten Schlieren verhalten, wenn sie mit den Schlotwandungen oder etwa mit hineinfallenden kühleren Schlacken in Berührung kommen, oder in den Bereich der Blasenentwicklung nahe der Lavenoberfläche gelangen."

Die Spannkraft der im Magma eingeschlossenen Gase als treibender Faktor beim Aufstieg der vulkanischen Auswurfsmassen aus dem Erdinnern zur Erdoberfläche würde also nach der soeben vorgetragenen und von vielen Forschern geteilten Meinung genügen, sofern nur ein Ausweg für diese Massen vorhanden sei, also etwa eine sich öffnende Kluft oder Spalte, oder auch falls eine Verminderung des Drucks stattfände, die allerdings anders, als durch die Entstehung eines bis in die Nähe des Magmas reichenden Risses kaum erklärbar wäre.

Schon vor geraumer Zeit hat ein weniger bekannter französischer Forscher, Ch. Contejean, der an der naturwissenschaftlichen Fakultät zu Poitiers Geologie lehrte, einen von Lapparent[1]) wieder zu Ehren gebrachten Einwurf gegen die Anschauung gemacht, die Spannkraft der durch eindringendes Wasser erzeugten Dämpfe sei die Triebfeder der Eruption, der hier ausgeführt werden soll. Wir müssen uns, so meint der Genannte, die Sache, wenn sie möglich wäre, doch so vorstellen, daß eine

[1]) Traité de Géologie 5. Aufl., Paris 1906.

Zone von Dämpfen zwischen der festen Erdkruste und dem darunter befindlichen Magma entstünde, die infolge ihrer Expansionskraft arbeiten und die Lavasäule nach oben treiben würde, etwa so, wie der Luftdruck die barometrische Säule hinauftreibt, oder noch besser, wie die elastische Gewalt des Dampfes in einem Dampfkessel die Quecksilbersäule eines Manometers hochhebt. Dann aber können diese Wasserdämpfe nicht direkt an dem unteren Ausgangsende des Vulkanschlotes, da, wo dieser in die magmatische Zone hinabreicht, angesammelt sein, sonst würde ja der Dampf durch diesen Schlot nach Maßgabe seiner Entstehung entweichen müssen. Unter solchen Umständen ist es zwar verständlich, daß die Wasserdämpfe eine entsprechende Spannkraft erhielten, um den ihnen von der im Vulkanschlot vorhandenen Lava entgegengebrachten Druck zu überwinden (falls eine solche Lavamenge hier vorhanden wäre), und damit die den Ausbruch einleitende Explosion zu bewirken, aber es bliebe unerklärlich, wieso die Dämpfe befähigt sein sollen, die unter ihnen befindlichen Magmamassen nach oben zu bewegen. Nehmen wir aber an, daß die Ansammlungen von Wasserdämpfen neben und nicht unter dem Ausgangsende des Vulkanschlots im Magma lägen, so würde ein Auftrieb der Laven ja nicht mehr verneint werden können, wohl aber dafür die Möglichkeit der Anfangsexplosion und des Austritts der gewaltigen Massen von Wasserdampf, welche jede größere Ausbruchstätigkeit der Vulkane im allgemeinen zu eröffnen pflegen. Nach der hier in Frage stehenden Lehre häufen sich die Wasserdämpfe ganz allmählig und stetig in den Tiefen an, während ihre Expansionskraft ebenfalls mit der Zeit wachsen und zunehmen muß. Die Folge davon würde ein durch diese Dämpfe hervorgerufenes allmähliches Ansteigen der Laven im Schlote sein, wodurch diesen ersteren der Ausweg nach oben so lange versperrt bleiben müßte, bis das Niveau des glutflüssigen Breies wieder bis zum unteren Ausgangsende des Schlotes herabgesunken wäre.

Das hieße mit andern Worten, daß bei einem vulkanischen Ausbruch die Emmission der Laven zuerst stattfinden müßte, und dann erst der Austritt der Gasmassen. Aber gerade das Umgekehrte ist der Fall.

Gegen die Annahme vom Auftrieb der Laven durch explodierende Dampfmassen wendet sich Lapparent mit einem weitern Einwurf von großer Tragweite. Wir wissen, so äußert er sich, daß, solange die Luft keinen Zutritt zu den glühenden Lavamassen erhält, diese eine Reihe von brennbaren Gasen aufgespeichert halten, die deutlich zeigen, daß sich im Gesteinsbrei bis zu dessen endgiltigem Austritt aus dem Vulkanschlot keinerlei reduzierende Wirkungen geltend gemacht haben können. Wie aber wäre das angängig infolge der Dissoziation des Wassers, bei welchem Vorgang der Sauerstoff doch immer mit oxydierbaren Substanzen zusammen gegenwärtig sein müßte!

„Ziehen wir ferner in Betracht, daß die mit dem Ozean am typischsten vergesellschafteten Vulkane diejenigen der Sandwich-Inseln sind. Nun sind mit Explosionserscheinungen verbundene Paroxysmen an diesen Feuerbergen eben unbekannt, und niemals zeigen sich hier gewaltige Dampfexhalationen. Und dennoch dürften gerade hier durch Aufklaffen von Spalten entstandene Verbindungen zwischen Meerwasser und Lava nicht fehlen, denn mehr als einmal hat ein submariner Erguß der Laven des Kilauea stattgefunden. Aber eigentümlicherweise ereignete sich noch ein jedesmal, wo dies der Fall gewesen ist, keine heftige Explosion, und lediglich nur eine kurze Temperaturzunahme des Meerwassers, und unzählige tote Fische im Wasser zeigten den Vorgang an. Daraus wäre zu folgern, daß immer, wenn Meer und unterirdische Mächte miteinander in Berührung kommen, die letztern das erstere zurücktreiben und die Oberhand gewinnen müssen.“ (Lapparent.)

Auf Grund von Erscheinungen, die Eduard Sueß im Vereine mit einigen andern Gelehrten, darunter der berühmte Bonner Mineraloge Gerhard vom Rath, im Januar 1871 am Vesuv

wahrgenommen hat, kam er dazu, die damalige Tätigkeit dieses Vulkans mit einem Geysir zu vergleichen. „Die Analogie mit dem Geysir war so groß, daß der Schluß sich aufdrängen mußte, der Vesuv sei nur eine Form von Siedequellen[1])."

Die Geysire sind heiße Quellen, die nicht unter hydrostatischem Drucke stehen und nicht andauernd, also nicht kontinuierlich Wasser von sich geben, sondern nur in mehr oder weniger regelmäßigen und jeweils durch Ruhepausen unterbrochenen Zwischenräumen. Es sind also intermittierende Quellen, deren Mehrzahl schwefelige Gase, aber mit gewaltigen Mengen von heißem Wasser untermischt, in dicken Strahlen hoch in die Lüfte hinaufschleudern, Phänomene, welche mit dem Vulkanismus in engen Beziehungen stehen, und zwar meist da, wo dessen Kräfte in abnehmendem Maße tätig sind, sich also auf Gas- und Wasserexhalationen beschränken. Die Geysire haben ferner sehr oft die Eigenschaft, starke Absätze von Kieselsäure zu liefern, welche rings um die Quellenöffnung größere und kleinere hügelartige Gebilde darstellen. Der Geyserit, aus dem diese Absätze bestehen, setzt sich aus opalartigen Modifikationen der Kieselsäure zusammen, und am Abscheiden dieser Mineralsubstanzen nehmen Fadenalgen einen starken Anteil. Geysire sind in Island, von woher auch die Bezeichnung für diese Siedequellen stammt, zuerst bekannt geworden, späterhin wurden dieselben auf Neuseeland und im Westen der nordamerikanischen Union, im National-Park aufgefunden. Auch auf den Azoren sind ähnliche Dinge nachgewiesen (Fig. 18).

Die von den isländischen Geysiren abgelagerte Masse stammt aus den dortigen Palagonittuffen, diejenige der heißen Springquellen des Yellowstone-Gebiets aus den liparitischen Gesteinen ihres Untergrundes. Es ist von Lapparent betont worden, daß die Mehrzahl der Solfataren und Geysire in innigem Verhältnis zu ältern, also ihnen vorhergegangenen Ergüssen sehr

[1]) Über heiße Quellen. Leipzig 1902.

saurer Gesteine stehen, so beispielsweise in den Phlegräischen Feldern, wo die Solfatara in nächster Nähe eines trachytischen Lavastromes tätig ist, und auf den Liparen, wo liparitische Gesteine mit einem bis 77 Prozent erreichenden Gehalt von Kiesel-

Fig. 18. Der große Geysir auf Island im Ausbruch. Nach einer älteren Darstellung.

säure gewaltig entwickelt sind und der Stromboli arbeitet, dessen mit den Geysiren sehr nahe verwandten, um nicht zu sagen identischen Charakter wir noch kennen lernen werden. Auch in Mexiko läßt sich das nachweisen, ebenso in Kalifornien, Neuseeland und zweifellos auch auf Island, wo der Große Geysir

im Konnex mit dem liparitischen Hügel des Langafjell steht, wie durch Schmidt zuerst nachgewiesen wurde, und wie es Thoroddsens Untersuchungen bestätigen. Es hat demnach den Anschein, als ob die chemisch wirksamen Dämpfe aus den Solfataren und den diesen verwandten Gebilden eine ganz besondere Rolle beim Durchbruch derjenigen Eruptivmassen zu spielen berufen sind, deren Reichtum an Kieselsäure sie wenig schmelzflüssiger macht, zumal in denjenigen Gebieten, die Eruptionszentren von basischer Natur darstellen, derartige vulkanische Erscheinungen gänzlich oder fast gänzlich fehlen. So auf den Hawaii-Inseln und am Ätna.

Eine das Geysirphänomen in vollkommener Weise erläuternde Erklärung verdankt die Wissenschaft dem berühmten Chemiker Bunsen, der selbst einmal an Ort und Stelle seine Beobachtungen machen durfte. Die Figur 19 mag zum besseren Verständnis derselben dienen. Die Abbildung stellt einen Durchschnitt durch die Geysirröhre dar. Bei dem Punkte A (3,30 m tief) wurde eine Temperatur von 85,5° festgestellt, bei B (8,10 m) 110°; bei C (11 m) wurde keine Temperatur konstatiert. Bei D dagegen (12 m) betrug sie 121,8°, bei E (18 m) 124°, und bei F (22,5 m) 126°. Um das Wasser zum Siedepunkt zu bringen, der sich ja bei zunehmendem Druck der darauf lastenden Wassersäule erhöhen muß, je tiefer wir in die Röhre eindringen, sind bei A 107°, bei B 116°, bei C 120,8°, bei D 123,8°, bei E 130° und bei F 136° erforderlich. Demnach wären nach den oben angegebenen Zahlen an keiner Stelle der Geysirröhre die zum Sieden des Wassers nötigen Wärmemengen vorhanden. Auf dem Grunde der Röhre beträgt der Unterschied zwischen der wirklichen und der Siedetemperatur sogar nicht weniger als 10°, und an dem oberen Ende ist diese Differenz noch sehr viel beträchtlicher. Beim Punkte D dagegen, in 13 m Tiefe ist dieser Unterschied sehr klein, etwa 2°.

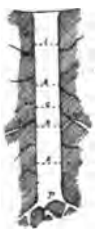


Fig. 19. Durchschnitt durch eine Geysirröhre.

Wenn nun die bei F auf dem Grunde der Geysirröhre in dieselbe eindringenden Dampfmassen die nötige Spannkraft erworben haben, um die Wassersäule um etwa 2 m in die Höhe zu treiben, was man an der Ausbruchsstelle beobachten kann, so verschiebt sich die bei D befindliche 121,8° heiße Wasserschicht einen Augenblick nach C hinauf, wo nur noch eine Temperatur von 120,8° herrscht. Hier verwandelt sie sich dann sofort in Dampf und schießt das über ihr lastende Wasser hinaus, indem auf solche Weise ein mächtiger Strahl zustande kommt, der viele Meter hoch in die Lüfte steigt. In den Glanzzeiten des Großen Geysirs von Island hat der hinausgeschleuderte Wasserstrahl an 3 m Durchmesser und 30—50 m Höhe erreicht. Heute ist das nicht mehr der Fall, und die damaligen Intervallen von sechs bis sieben Stunden sind bedeutend größer geworden. Oft kann man tagelang (nach Sueß bis zu 20) auf die Wiederholung eines Ausbruchs warten, der nur selten mehr die Mächtigkeit und Höhe früherer Tage erreicht. Tätiger sind die Geysire Nordamerikas, ebenso regelmäßiger in ihren Ausbrüchen, so der Old Faithful, der seiner Präzision diesen Namen zu verdanken hat und alle 65 Minuten sich produziert, während ein andrer, der Giant, mehr serienartige Anfälle bekommt, je nachdem einen oder mehrere am Tage, und jede Serie bis zu sieben Einzeleruptionen umfassend. Die von Hochstetter zuerst beschriebenen Geysirerscheinungen Neuseelands, die in gewaltiger Anzahl längs einer 225 km langen Bruchlinie auftraten (allein 76 im Waikato-Tale) sind durch einen großartigen vulkanischen Ausbruch im Jahre 1886 fast alle zugrunde gegangen.

Bei pulsierenden Quellen von der Art der Geysire wird man, wie Sueß bemerkt, nicht die genaue Regelmäßigkeit des Pulsschlages eines lebenden Wesens erwarten können. „Kleinere Seitenzugänge in der Tiefe und andere Nebenumstände bringen es bei den Siedequellen dahin, daß sehr oft neben den regelmäßigen Ausbrüchen der Siedequellen eine Reihe viel kleinerer Ausbrüche einhergeht, in denen keine Regelmäßigkeit wahrzu-

nehmen ist, und erst, wenn man von diesen kleinen Zuckungen absieht, die namentlich der größeren Eruption voranzugehen pflegen, wird der Rhythmus erkennbar."

Die Geysire sind, das mag hier noch bemerkt werden, geologisch ephemere Gebilde, um hier einen Ausdruck von Andreä zu gebrauchen, mehr oder weniger kurze Phasen in dem Entwicklungsgang bestimmter heißer Quellen, wie denn auch alle verbindenden Übergänge zwischen typischen Geysiren und gewöhnlichen heißen Quellen auf der einen und den Dampfquellen auf der andern Seite vorhanden sind.

Zur Herausbildung eines Geysirs ist es nach den Ausführungen des ebengenannten Geologen durchaus nicht erst notwendig, daß eine schornsteinartig gebaute Röhre vom Quellorte in den Felsboden hinabreicht. Der Geysir ist vielmehr fähig, sich seinen Apparat selbst aufzubauen. Hören wir, wie Andreä das erklärt[1]):

„Eine reichlich Dampf führende Thermalquelle tritt auf einer in der Natur vorhandenen, vielleicht auch schon oberflächlich durch Verwitterung erweiterten Spalte in dem Liparit zu Tage. Sehr bald wird, namentlich randlich, der Absatz von Kieselsinter, der vorwiegend durch Verdunstung und durch Algenwachstum geschieht, beginnen und nach der Mitte der Quelle fortschreitend, eines jener prachtvollen blauen, oft kreisrunden und tief trichterförmigen Wasserbecken bilden. Häufig sind die Ränder dieser Quellen unterhöhlt, da der Absatz des Sinter oberflächlich am schnellsten fortschreitet.

Mit der Zeit wird sich dann, wie Bunsen und Tyndall das geschildert haben, ein flacher Kegel aufbauen, in dessen Mitte für das aufsteigende heiße Quellwasser ein Kanal, das

[1]) Über die Nachahmung verschiedener Geysirtypen und über Gasgeysire. In: Verhandlungen d. naturh.-mediz. Vereins zu Heidelberg, n. F., 5. Bd., 1. H., Heidelberg 1893.

Über die künstliche Nachahmung des Geysirphänomens usf. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie usf., 1893, 2. Bd., Stuttgart 1893.

Geysirrohr, frei bleiben wird. Ein Geysirbecken wird entstehen bei regelmäßigem, randlichem Überfließen, eine Schornsteinbildung wird eher dann erzeugt werden, wenn das Geysirrohr für gewöhnlich nicht mit Wasser erfüllt ist und der Absatz mehr bei und gleich nach der Eruption stattfindet, auch wenn die Algentätigkeit beim Absatz des Sinters sehr überwiegt." Die Figur 20 mag zur Erklärung des Gesagten dienen.

Eine Art von pulsierender Siedequelle, wie nach der Auffassung von Sueß der Vesuv sie darstellt, ist auch der Vulkan Stromboli auf den Liparischen Inseln, dessen in gewissen, wenn auch unregelmäßigen Zeiträumen wiederkehrende Aufwallungen des Glutbreies im Krater, die „strombolianische Tätigkeit" eines Vulkans, schon vor Jahrhunderten aufgefallen sind (Fig. 21) Bergeat, der diesen Feuerberg eingehend untersucht hat, gibt eine beredte Schilderung des Phänomens, die wir hier folgen lassen wollen[1]):

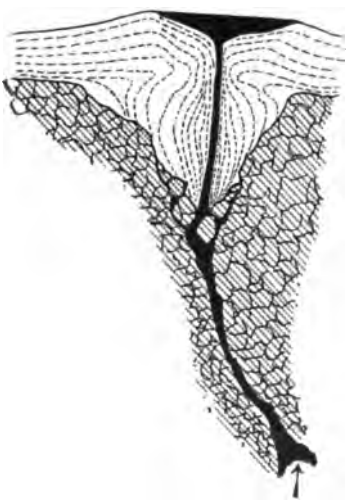


Fig. 20. Durchschnitt durch die Röhre eines Geysirs aus dem Yellowstone-Gebiet. Nach Andreä.

„Von einer ernsten Schönheit war das Schauspiel in der Vollmondnacht des 14. Oktober. Über dem Antico (dem ältesten Hauptkrater des Stromboli) lag dann und wann heller Glutschein, die tosende Tätigkeit des dritten Kegels, in der stillen Nacht noch viel schauriger, förderte feurige Garben von glühenden Lapilli, etwa so, als ob man nasses Pulver verpuffen ließe. Am prächtigsten waren aber auch jetzt die Ausbrüche des westlichen Schlundes. Sie bereiteten sich manchmal vor durch ein leichtes Brausen, das begleitet war von immer stärker werdendem und wieder verlöschendem Aufleuchten; daher wurden mitunter zähe

[1]) Die Aeolischen Inseln. München 1899.

Massen glühender Lava bis an den Rand des Kraters gespritzt. Plötzlich schien es, als ob der Glutfluß sich in dem Schlunde höbe, er trat bis an den Rand, schien sich emporzublähen und mit einem lauten Knall, den wir mit pochendem Herzen ererwarteten, entfaltete sich eine Feuergarbe gleich einem der Buketts, die gewöhnlich den Schluß eines Feuerwerks bilden. Die Explosion erfolgte jedoch auch ohne jede Vorbereitung. Manchmal lag tiefe Stille über der ganzen Terrasse, bis plötzlich die rote Feuersäule emporstieg und den dunkeln Abhang des Berges mit unzähligen Lichtchen besäte, die langsam erlöschten.

Fig. 21. Der Stromboli auf den Liparen.

Manche der Bomben müssen den Durchmesser von einigen Metern besessen haben, denn sie strahlten noch sehr lange rote Glut aus."

Eine Gesetzmäßigkeit in der Größe der die Explosionen trennenden Zeiträume besteht, wie schon gesagt, nicht, wenn eine solche auch schon vielfach behauptet wurde, und der Siedeprozeß, die Bildung der Gasblasen, durch deren Empordringen und Platzen die Explosionen erfolgen, muß ganz nahe an der Oberfläche vor sich gehen.

Über eine andere Erscheinung beim Stromboli, die zwar nicht in den Rahmen dieses Abschnittes gehören mag, immerhin aber von so großem Interesse ist, daß sie mit einigen Worten erwähnt werden dürfte, soll hier noch kurz einiges gesagt werden.

Es ist ein schon von alters her eingewurzelter Glaube gewesen, das Wetter, d. h. der Luftdruck, beeinflusse die Heftigkeit der Eruptionen dieses Vulkans, eine Annahme, die schon von Schriftstellern des Altertums, Plinius, Solinus und noch andern geteilt wurde. In spätern Zeiten ist von dieser Eigenschaft des Stromboli, gewissermaßen als Wetterprophet zu dienen, vielfach die Rede gewesen, und eine namhafte Zahl bedeutender Forscher — wir nennen nur L. v. Buch, Poulett-Scrope, Abich — hat sich damit beschäftigt, sowohl in bejahendem, als auch in verneinendem Sinne. Besonders jedoch im ersteren. Bergeat ist bei seinen Barometerbeobachtungen gelegentlich einer dreimaligen Besteigung des Vulkans zu einem entgegengesetzten Resultat von demjenigen gelangt, welches nach der bisherigen Ansicht zu erwarten gewesen wäre. „Ein abnehmender Luftdruck hätte nach letzterer eine Zunahme vulkanischer Erregung mit sich bringen müssen; statt dessen ließ sich über der Kraterterrasse sehr deutlich eine Abschwächung der Eruptionen erkennen.“ Auch eine starke Luftverminderung bleibt ohne merklichen Einfluß auf die Tätigkeit des Vulkans, und allein nur die Dampfbildung über dem Krater und an den Fumarolen läßt einen Schluß auf die kommende Witterung zu. „Streichen kalte und feuchte Winde über dem Krater hin, so wird sich mehr „Rauch“ wahrnehmen lassen, als bei trocknem Wetter, wo die dem Krater entsteigenden Gase nur für kurze Zeit zu Dämpfen sich kondensieren, um alsbald wieder, in der Luft zerschmelzend, unsichtbar zu werden. Die bei feuchter Luft in verstärktem Maße auftretenden Dampfwolken ließen zugleich wie eine Wetterfahne die Richtung des über den Gipfel hinstreichenden Windes erkennen.“

Nachdem wir nun das Wesen des Geysirphänomens kennen gelernt haben, kehren wir zu der Sueßschen Ansicht zurück, der Vesuv selbst sei nur eine Form von Siedequellen. Wir erteilen dem berühmten Wiener Geologen wieder das Wort:

„Im Januar 1871 hatte der Vesuv seitlich außerhalb des Hauptkraters und etwa 60—70 Meter tiefer als der Gipfel einen

kleinen Krater aufgebaut, den „Cratere parasitico", wie er damals genannt wurde.

Von ferne erschien er als eine zackige Erhöhung auf dem sonst gleichförmig abfallenden Kegel des Vulkans. Am 31. März desselben Jahres standen wir, Professor Gerhard vom Rath aus Bonn, einige Wiener Freunde und ich selbst, bei heiterer Nacht auf dem Quai St. Lucia in Neapel, und wir konnten in unzweifelhafter Weise wahrnehmen, daß der kleine Krater in regelmäßigem Rhythmus nach je sechs bis acht Sekunden aufleuchtete, während im Hauptkrater gleichfalls rhythmisches Aufleuchten, aber nur nach etwa zwei Minuten, sich einstellte. Die beiden Ausbruchsstellen waren also in dieser Beziehung voneinander selbständig, da sie aber sicher einer gemeinsamen tieferen Esse entsprangen, konnte die Teilung nur in den oberen Horizonten, etwa an der Stelle der Abtrennung der Nebenesse des Cratere parasitico, eintreten, und die Verschiedenheit des Baues der obersten Teile der Esse mußte maßgebend sein für den Rhythmus. Am folgenden Tage gelang es uns, in das Innere des Cratere parasitico einzutreten. Wir sahen in seiner Esse die Lohe in je sechs bis acht Sekunden um einen Meter ansteigen; dann lösten sich aus der siedenden Masse kopfgroße Blasen, und glühende Fetzen von Schlacke wurden hoch in die Luft geschleudert. Hierauf sank die Lohe im Schlunde, eine neue Schlackenrinde bildete sich sofort, um durch eine neue Explosion wieder in großen Garben ausgeworfen zu werden. Wolken von Wasserdampf schwebten um die Ausbruchsstelle; auch Chlorwasserstoff und schweflige Säure waren anwesend. Im allgemeinen war es aber doch nur das Bild eines Geysirs, der neben diesen überhitzten Gasen auch geschmolzenes Gestein auswarf."

Bei 1090° C tritt nach Dölters Untersuchungen bei der Vesuvlava Dünnflüssigkeit ein, bei 1060° C wird dieselbe weich. Letzteres mag wohl die Temperatur der noch plastischen Lavafetzen gewesen sein, welche der Krater ausschleuderte, und diejenige der kochenden Lava dürfte in der Tat keinen viel höheren

Punkt als 1090° C erreicht haben. „Aber nicht der Umstand, daß die Intermittenz von sechs bis acht Sekunden zur Abkühlung der Lava von 1090 auf 1060° C hinreicht, ist hier," wie Sueß betont, „das Entscheidende, denn es kommt das rasche Entweichen der Gase in Betracht, wohl aber der Umstand, daß die Wände des Kessels selbst nicht aus Asche, sondern aus durch eine anfängliche Explosion aufgerichteten Schollen derselben Lava bestanden, und daß sie auch nach vielen Monaten nicht aufgeschmolzen waren.

Dies führt zur Vermutung, daß die im Cratere parasitico aufsteigenden Gasblasen selbst die Wärmebringer gewesen sind, ganz wie die heißen in das Sinterrohr des Geysirs eintretenden Blasen, daß sie es waren, welche die Laven durch Abgabe von Wärme zum Schmelzen brachten und dann unter den bekannten Intermittenzen aufstiegen. Man wird in dieser Ansicht durch den Umstand bestärkt, daß größeren vulkanischen Ausbrüchen unterirdische Kanonenschläge vorauszugehen pflegen, welche allgemein für das Zeichen des Eintretens sehr heißer Dampfblasen in eine kühlere Umgebung gehalten werden. Die dumpfen Schläge werden häufiger, bis endlich der erste weiße Dampfballen aus dem Krater hervorschießt. Später erst steigt die siedende Lava auf, die inniger mit Wasserdampf gemengt ist.

Wie dem aber auch sein mag, so viel steht fest, daß die Massen von Wasserdampf, welche aus dem Cratere parasitico entwichen, aus einer Temperaturzone stammen mußten, welche dem Schmelzpunkte der meisten Felsarten gleichstand, oder ihn übertraf, in welcher daher von porösem oder zerklüftetem Gestein und schon aus diesem Grunde auch von vadoser Infiltration nicht die Rede sein kann"[1]).

---

[1]) Auch die Pulsationen, die Sapper im September 1902 an einem Nebenkrater des Izalco (Salvador) beobachtet hat (Centralblatt für Mineralogie usf., 1903, pag. 111), führt Sueß in neuester Zeit als Beweis für seine Ansicht an. (Antlitz der Erde, III, 2, Wien-Leipzig, 1909). Nach Sueß hat übrigens schon C. F. von Graefe vor 60 Jahren das Pulsieren der Thermen mit den Vulkanen in Vergleich gezogen. (Die Gasquellen Süditaliens und Deutschlands, Berlin, 1842.)

Svante Arrhenius[1]), der uns schon durch seine geistvolle Theorie von der möglichen Beschaffenheit des Erdinnern genauer bekannt geworden ist, hat sich im Verfolg seiner Ausführungen auch mit der Anwendbarkeit seiner Lehre auf die Erklärung der vulkanischen Ausbrüche beschäftigt. Der schwedische Forscher bekämpft zuerst die Meinung von den Beziehungen der Vulkane zu präexistierenden Spalten, soweit solche verallgemeinert wurde. Es kommen, sagt er, unzweifelhaft Feuerberge vor, die von solchen gänzlich unabhängig sind, und wo Vulkane mit Spalten in Vergesellschaftung zu stehen scheinen, resp. sich damit verbinden lassen, muß es doch wohl fraglich sein, welche von beiden Erscheinungen als Ursache, und welche als Wirkung angesehen werden darf. Wenn eine gegebene Spalte das darunter befindliche Magma infolge von Druckentlastung flüssig machen kann, so dehnt sich dieses aus und dringt empor. Aber dadurch würden ja die tiefer liegenden Teile des Glutbreies wieder unter hohen Druck gesetzt und erhielten ihre frühere Zähflüssigkeit wieder. „Wenn also nichts anderes geschähe, so würde das unter relativ niederem Druck stehende ziemlich leichtflüssige Magma in dem Risse von einem nahezu starren Körper umgeben sein und sich ungefähr wie die Flüssigkeit in einer Flasche verhalten. Durch Abkühlung würde das Magma erstarren und der ganze Riß zugestopft sein. Kein Vulkanismus würde auf diese Weise zustande kommen."

Nur das Vorhandensein enormer Mengen von Gasen, insbesondere von Wasserdampf, bewirkt die Eruption. Ist Wasser im Magma gelöst, so muß es, sobald es unter einen andern, als den kritischen Druck gelangt, in Blasenform aufsteigen. Letzterer ist gleich 200 Atmosphären und würde in einer Magmasäule 740 m unter ihrem mit der Lufthülle der Erde in Verbindung stehenden oberen Ende zu finden sein.

In 740 m Tiefe könnte Wasser in flüssigem Zustande nur dann vorhanden sein, sofern die Temperatur unter 365° C., das

[1]) Zur Physik des Vulkanismus. Stockholm, 1900.

ist die kritische, läge. Nun besitzt das Magma aber eine Hitze von mindestens 1200° C., und darum werden auch alle oberhalb der erwähnten 740 m im Magma eingeschlossenen Wassermengen verdampfen müssen und als Gasblasen zur Oberfläche heraufkommen. Dadurch entstehen plötzliche Entlastungen, das Magma wird hinausgeschleudert, so wie bei einem Geysir etwa, und zwar unter explosionsartigen Erscheinungen, die ja auch tatsächlich bei den vulkanischen Eruptionen vor sich gehen! Am Ende des Ausbruchs muß aber alles Wasser wieder im Gleichgewicht mit der im Risse stehenden Lavasäule sein, und diese erstarrt allmählich wieder. Es könnte demnach keine neue vulkanische Erscheinung mehr an derselben Stelle stattfinden, falls nicht neue Risse sich bilden würden,

Nur die stetige Zufuhr von Wasser zum Magma kann erklären, wieso vulkanische Eruptionen lange Zeiträume hindurch sich an denselben Stellen zu wiederholen vermögen, und es ist Meerwasser, das zu dem in einer gewissen Tiefe unter dem Meeresboden befindlichen Magma hindurchsickert. Der Meeresboden mit seinen Kapillaren verhält sich wie eine sempermeable Membran, deren Poren weit genug sind, um flüssiges oder gasförmiges Wasser durchzulassen. Und nur letzteres kann zum Magma dringen, und die alte Vorstellung vom Eindringen flüssigen Wassers muß korrigiert werden. Denn der Gesteinsbrei besitzt ja eine Temperatur von weit mehr als 356° C., der kritischen für das Wasser, und darum muß in der festen Erdkruste schon weit oberhalb des Magmaniveaus eine solche Wärme vorhanden sein. Sobald der Wasserdampf durch Kapillare mit dem Magma in Verbindung steht, wirkt letzteres auf den ersteren etwa wie flüssiges Chlorcalcium auf Wasser, und dieses vermag den sehr viel höheren Druck der ihm vom Glutfluß entgegengebracht wird, zu überwinden.

Das zum Magma gekommene Wasser wirkt hier als eine zur Kieselsäure des Glutbreies relativ kräftige Säure, es finden infolgedessen allerlei Zersetzungen statt, und dadurch gerät das

Magma in einen leichtflüssigen Zustand. Daneben jedoch bleibt immer noch etwas Wasser im Magma frei, das aber nach den Raoultschen Gesetzen nur einen sehr niedrigen Dampfdruck besitzen kann. Bis dieser Dampfdruck so sehr angewachsen ist, wie der Druck der überlastenden Wassersäule, von der Meeresoberfläche ab gerechnet, kann immer noch mehr Wasser aufgenommen werden, und das hat wiederum ein Anschwellen des Magmas und eine Volumenzunahme desselben zur Folge, und zwar etwa von einem dem Volumen des hinzugetretenen Wassers gleichgroßen Betrage.

Auch wird das Magma durch die Wasseraufnahme sehr viel leichtflüssiger und fängt nun an, nach allen Seiten hin einen Druck auszuüben und im Vulkanschlot aufzusteigen. Auf diesem Wege wird es abgekühlt, sein Wasser verliert nach und nach seine starke Säurekraft, die Kieselsäure gewinnt wieder die Oberhand, treibt das Wasser aus den Hydraten aus, der Druck des Wasserdampfes steigt trotz der Temperaturabnahme, und sobald die wasserhaltigen Teile des Glutbreies unter genügend niedrigen Druck gekommen sind, also nahe der Oberfläche, gehen die Dampfexplosionen los. Der Umstand, daß bei vielen vulkanischen Eruptionen dem explosiven Hinausschleudern der losen Massen (Aschen, Sande, Lapilli usf.) ein ruhiger Lavaerguß folgt, läßt sich mit einer bedeutend verminderten Abkühlung des Magmas im Vulkanschlot gegen das Ende des Ausbruches erklären[1]).

Nach der Theorie von Arrhenius würde der Vulkan im Grunde genommen auch nichts andres sein, als ein Geysir. Beiden strömt Wasser zu, in dem ersteren wird dieses allerdings

[1]) Doelter (Zur Physik des Vulkanismus, Sitzgsber. der K. K. Akademie der Wissenschaften in Wien, 112, Wien 103, und: Petrogenesis, Braunschweig, 1906) ist der Ansicht, daß, wenn auch beim Erstarren des Magmas Wärme frei werde, wodurch das Volumen der Gase gesteigert würde, es dennoch verfehlt sei, der doch nicht bedeutenden Tensionsvermehrung der Gase die bedeutenden Erscheinungen bei der Vulkanbildung zuzuschreiben, wie das von E. Baur (Chemische Kosmographie, München und Berlin, 1903) geschehen ist. Es genüge dagegen, das Verhalten der Gase bei den verschiedenen Drucken, um den Vulkanismus zu erklären.

größtenteils chemisch gebunden. Bei beiden steht das Wasser, resp. das wasserhaltige Magma unter höherem Druck, als der maximalen Spannkraft des Wasserdampfes entspricht, und darum ist auch so lange keine Explosion möglich, bevor nicht beim Heraufstreiben des Wassers, resp. des Magmas im Schlot derjenige Punkt erreicht ist, wo der Druck des Wasserdampfes den äußeren Druck überwinden kann.

Es ist mit Recht von andrer Seite (Großer in Bonn) hervorgehoben worden, daß das von Arrhenius angenommene Magma so beschaffen sein würde, um sich seinen Weg zur Erdoberfläche selbständig, also ohne die Notwendigkeit einer präexistierenden Spalte zu bahnen, wenn der schwedische Gelehrte diese Folgerung auch nicht selbst daraus gezogen hat.

Der Vulkan ist ein Apparat, vermittelst welchem das Wasser seinen nach oben gerichteten Lauf aus den Tiefen des Planeten zu dessen Oberfläche vollführt, und zwar durch den größten Teil der festen Erdrinde hindurch. Das ist die Definition, welche Stanislas Meunier vom Vulkan gegeben hat[1]). Dieses Wasser ist aber der Ansicht des Pariser Gelehrten nach kein juveniles, sondern solches, welches die Gesteine der Tiefe imprägniert, also Bergfeuchtigkeit. Unterirdische Klüfte und Spalten durchziehen die Erdfeste, und durch diese hindurch können Teile der Erdrinde aus den oberen Regionen, wo die Gesteine noch gehörig von Wasser durchfeuchtet sind, in jene tieferliegenden hinabstürzen, in welchen dieser Umstand nach Meunier nicht mehr möglich ist, weil die in diesen Zonen des Planeten herrschende Temperatur das nicht mehr erlauben würde, dafür aber dort das Magma feurigflüssig flutet. Diese in die Tiefe gelangten Teile der oberen Krustenlagen können neben Wasser selbstverständlich noch andre Substanzen enthalten, so beispielsweise

[1]) La géologie générale. Paris, 1903. La géologie expérimentale. 2. édit., Paris, 1902.

Résumé d'une théorie générale du phénomène volcanique. In: Compte rendu de la Xème session du congrés géologique international, Mexico, 1906. Mexico, 1907.

Steinsalz (Chlornatrium). Beim Zusammentreffen der einstürzenden Massen mit dem Magma erfolgt eine Explosion, durch welche ein Ausbruch des Magmas bewirkt wird, und es ist dann erklärlich, auf welche Weise die bei einer vulkanischen Eruption austretenden gas- und dampfförmigen Stoffe, wie die Chlornatriumdämpfe der heißen Fumarolen, erzeugt worden sind. Die nebenstehende Figur 22 erläutert auf schematische Art, wie Meunier sich diese Vorgänge denkt (Fig. 22).

Die vulkanischen Eruptionen lehren uns, sagt der Ebengenannte, daß das Aufsteigen der Laven bis zum Gipfel des Ätnas, also bis zu 3000 m Meereshöhe, in jeglicher Weise mit den Erscheinungen vergleichbar ist, die eintreten, sobald wir eine aufrecht stehende Flasche Champagner oder Sodawasser rasch entkorken. Genau so wie bei diesem oder beim Schaumwein nehmen die Gasblasen an Durchmesser zu, je näher sie dem oberen Rande der Flüssigkeit kommen, die sie mit sich reißen. Und es kommt sogar der Augenblick, wo im unteren Teile der Flasche fast alles Gas entwichen ist, so daß, wenn die Flüssigkeit verfestigt werden könnte, man keine Spur desselben mehr finden würde, ein Umstand, der die Kompaktheit der unteren Teile eines Lavenergusses gegenüber dem blasigen Zustand seiner oberen Partien genügend erklären dürfte.

Fig. 22. Zur Erläuterung der Ansicht von Stanislas Meunier.

Für eine Erscheinungsart der vulkanischen Ausbrüche, die er Phreatische Explosionen nennt und auf welche wir später noch zurückzukommen haben werden, nimmt Sueß als Ursache das Zusammentreffen von juvenilem Wasserstoff mit einer

unbegrenzten Menge vadosen Wassers an. Und wenn solches phreatisches Wasser (Grundwasser im weiteren Sinne) in die Spalten eines Kalkgebirges eingeengt ist, zertrümmert die Explosion den Kalkstein und sucht sie Entlastung in Schußkanälen (Diatrèmes Daubrées). Auf derartige Weise erklärt der Wiener Geologe die Entstehung der Vulkan-Embryonen bei Urach, des Necks im Paläozoikum Mittelschottlands und andrer ähnlicher Erscheinungen, die wir bereits im zweiten Abschnitt kennen gelernt haben[1]).

Eine noch von manchen Forschern geteilte Ansicht ist, daß bei Veränderungen innerhalb der festen Erdrinde, also infolge einer Schollenbewegung, durch den Druck der absinkenden Scholle auf das Magma dieses letztere an die Erdoberfläche hinaufgepreßt würde. Diese Lehre setzt natürlich eine ziemlich regelmäßig unter der Erstarrungsrinde verteilte Zone feurigflüssigen Materials voraus. Der jüngst verstorbene Pariser Professor A. de Lapparent verfocht in seinem bereits mehrfach zitierten Lehrbuch der Geologie diese Anschauung, ausgehend von der Annahme, daß in etwa 60—70 km Tiefe die feste Rinde des Planeten allmählich in eine Zone übergehen muß, in welcher die Materie eine ausnehmend hohe Temperatur zeigt. Bricht oder faltet sich nun die Erdkruste an einem ihrer schwächeren Teile, so werden eine Anzahl von Klüften entstehen, auf denen der Glutfluß aufsteigen kann, und zwar um so mehr, als durch die Faltung oder den Bruch der Druck auf der feurigen Masse vermindert wird. Diese wird flüssiger, wird jedoch nicht überall einen Auftrieb erleiden können, sondern nur dort, wo die Klüfte so weit geöffnet blieben, um das zu gestatten. Auf solche Weise wird auch die Vergesellschaftung der Vulkanreihen mit den Linien oder besser Richtungen des geringsten Widerstandes in der Erdfeste erklärt, eine festgestellte Tatsache, und noch ferner der Umstand, daß die Feuerberge stets auf dem hohen, nicht aber auf dem abge-

[1]) Das Antlitz der Erde, III, 2, Wien-Leipzig, 1909, pag. 655 ff.

sunkenen Rande des Bruches aufsitzen. Das ist, um einige Beispiele anzuführen, in Island und bei den den Stillen Ozean umstehenden Vulkanen der Fall. Es ist einesteils verständlich, daß der abgesunkene Teil der Erdfeste die unter ihm befindlichen Magmamassen zusammendrückt, statt ihnen einen Auslaß zu gewähren, und andernteils, daß die Laven an der dem Faltungsprozesse am stärksten unterworfen gewesenen Stelle austreten müssen, also am oberen Rande des dadurch entstandenen Bruches, resp. der Zerrüttungszone. Denn hier kommt in erster Linie die Verminderung des auf dem Magma lastenden Druckes, also seine größere Verflüssigung zum Ausdruck. Die Ursache dieses Zusammenfaltens der Erdrinde ist in dem Umstand zu suchen, daß bei zunehmender Erkaltung unsres Planeten der glutflüssige innere Kern sich immer mehr zusammenzieht und die feste Erdkruste demnach das Bestreben haben muß, sich demselben anzupassen, sich daher falten und biegen muß, genau so, wie die Schale eines eintrocknenden Apfels sich runzelt, weil das Fleisch der Frucht nach und nach an Umfang verliert und zu klein für die erstere wird. Daher wird die Magmazone in der Tiefe eine vielfach eingebuchtete, der Erdoberfläche bald näher bald entfernter stehende Linie bilden, und überall, wo sie der letzteren näher kommt, dürfte Vulkanismus sich kundgeben. Es ist berechnet worden, daß, wenn der 510 Millionen Quadratmeilen Flächenraum besitzende Erdball sich derartig zusammenzöge, um die glutflüssige Zone seines Innern nur um einen Millimeter zu verkleinern, das vollauf genügen würde, um 510 Lavaausbrüche von je 1 cbkm Inhalt hervorzubringen. Lavaergüsse von $^1/_8$ cbkm Inhalt gehören aber schon zu den großen Ausnahmen!

Wir kommen nunmehr zu einer Anschauung, die in neuester Zeit sehr viel von sich reden macht und im Vordergrund der vulkanischen Kontroversen steht, zu der Lehre Stübels[1]). Mit den

[1]) Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kräfte in der Gegenwart, Leipzig, 1901. Über die genetische Verschiedenheit vulkanischer Berge. Leipzig, 1903 u. a. a. O.

Ansichten dieses Gelehrten haben wir uns schon einmal zu befassen gehabt, anläßlich der „Panzerdecke der Erde", die von ihm in die Wissenschaft eingeführt wurde (1. Abschnitt). „Als Ursache aller vulkanischen Tätigkeit ist, der Kant-Laplaceschen Hypothese streng Rechnung tragend, der Erkaltungsprozeß zu betrachten, welchen die glutflüssige Materie des Erdkörpers durchlaufen hat und noch durchläuft, um endlich in einen starren Zustand überzugehen. Mit der Erstarrung der Materie erlischt die vulkanische Kraft:

Die glutflüssige Materie ist demnach selbst die Trägerin der vulkanischen Kraft" [1]).

Die notwendige Folge des Erkaltungsvorganges ist nach Stübel die zeitweilige Ausstoßung glutflüssigen Magmas aus der Erde nach ihrer Oberfläche; sie ist eine unbestreitbare Tatsache, bewiesen durch die direkten Beobachtungen. Welche physikalischen und chemischen Vorgänge diese hauptsächlichste aller Ausbruchserscheinungen nach sich ziehen, das ist zurzeit noch nicht mit Sicherheit festgestellt; sehr wahrscheinlich jedoch ist der Grund hierfür in Volumenveränderungen zu suchen, wie sie bei jedem Erkaltungsprozesse vor sich gehen.

Als wohlbegründet läßt Stübel gelten, daß mit dem Übergange der Materie aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand eine Volumenverminderung stattfindet, aber mit größter Wahrscheinlichkeit darf auch angenommen werden, daß im Laufe des Erkaltungsprozesses des glutflüssigen Magmas auch eine Phase der molekularen Volumenvergrößerung eintritt, verbunden mit einer gewaltigen und sich stetig steigernden Kraftäußerung. Gerade diese Phase ist es, welche das zeitweise Hervorbrechen

[1]) Der Gedanke an eine dem Magma innewohnende vulkanische Kraft ist nicht neu, wie das F. von Wolff hervorgehoben hat (Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde, in: Zeitschrift der Deutschen geol. Gesellschaft, Bd. 60, Heft 4, Berlin 1908). Schon vor Stübel haben nämlich der berühmte Geologe C. Fr. Naumann in Leipzig (in seinem Lehrbuch Geognosie, I, 2. Aufl., 1858) und Ferdinand von Richthofen (Mitteilungen von der Westküste Nordamerikas, Die natürliche Gliederung und der innere Zusammenhang des vulkanischen Gesteines, in: Zeitschrift der Deutschen geol. Gesellschaft, Bd. 21, 1869) ähnliches ausgesprochen.

glutflüssigen Magmas bedingt. Mit andern Worten; diese von Stübel angenommene Phase molekularer Volumenvergrößerung ist die treibende Kraft des Vulkanismus, die Triebfeder in seinem Uhrwerk. Noch ein weiterer Faktor bei diesem Hervorbrechen der glutigen Massen kommt aber in Betracht, und zwar in nicht geringerem Maße, der überaus große Gasgehalt des Gesteinsbreies. Wenn nach allmählicher Schaffung eines Auswegs der auf dem Magma der Tiefe lastende Druck verringert wird, ist der Effekt des erwähnten Gasgehaltes ein Aufschäumen der Massen, und zwar trotz ihres hohen spezifischen Gewichts. Denn sie sind ja durch und durch mit Gasen durchsetzt. Die Fähigkeit des plötzlichen Aufschäumens hat anderseits ein ebenso plötzliches Insichzusammensinken im Gefolge, sobald ein Teil der Gase von der Materie abgegeben werden kann. Die Expansionsfähigkeit fällt aber auch für den inneren Bau der Erstarrungskruste darum in bedeutender Weise ins Gewicht, weil sie sofort eintreten wird, wenn der auf dem magmatischen Herde lastende Druck eine Verminderung erleidet. Dadurch ist die Möglichkeit, daß durch das Ausstoßen von Magma Hohlräume im Erdinneren entstehen können, aber vollständig ausgeschlossen. Ein ferneres Erfordernis der Expansionsfähigkeit ist das infolge des in der Tiefe wirksamen unermeßlichen Druckes höhere spezifische Gewicht des Magmas, als dasjenige seines Erstarrungsproduktes, auch wenn dessen Gefüge noch so dicht erscheinen mag.

Wir sahen soeben, daß die Annahme einer Volumenverminderung im Erkaltungsprozesse des Magmas auch Stübel als wohlbegründet erscheint; auch daß dieselbe zum Ausgangspunkte geotektonischer Hypothesen geworden ist, die trotz mannigfachen Einspruchs heute noch Geltung haben, wird, so meint der Genannte, der Wissenschaft gewiß nicht zum Vorwurf gereichen, am wenigsten in einem Falle, wo es sich, wie hier, leider nur darum handeln kann, Vermutungen möglichst glaubwürdig begründet zu sehen.

„Demungeachtet steht die Annahme einer ausschließlichen Volumenverminderung im Erkaltungsprozesse des Magmas nicht einmal so unerschütterlich fest, wie es die übliche Darlegung jener Hypothesen uns glauben machen will."

Das wird von Stübel folgendermaßen begründet:

Viele Flüssigkeiten und Schmelzmassen erleiden bei ihrer allmählichen Abkühlung keineswegs eine im Verhältnis zur Temperaturerniedrigung, die zum Ausdruck kommt, fortgesetzte Verminderung ihres Volumens, sondern erfahren im Gegenteil, bei einer bestimmten Temperatur angelangt, trotz fortschreitender Erkaltung wieder eine Volumenvermehrung. So bekanntlich das Wasser, das bei + 4 ° seine größte Dichtigkeit bekommt, und dann, unter diesem Wärmemaß angekommen, wieder an Volumen zunimmt bis zur Änderung seines Aggregatzustandes vom flüssigen zum festen.

„Aber auch an geschmolzenen Massen, besonders an Metallen, ist der ungleichmäßige Verlauf, welchen die Kurve der Volumenänderung zeigt, schon längst auf das bestimmteste nachgewiesen worden. Ebenso ist es dem Chemiker und Hüttenmann bekannt, daß geschmolzenes Wismut kurz vor seinem Erstarren eine sehr bedeutende Ausdehnung erfährt. Starres Eisen schwimmt auf flüssigem. Eines der auffallendsten Verhalten zeigt bekanntlich das Brosesche Metallgemisch." Dieses wird bei 93,7 ° flüssig, dehnt sich bei einer Erwärmung bis auf 44 ° regelmäßig aus, zieht sich dann aber von hier ab bis zu 69 ° wieder derartig zusammen, daß bei dieser Temperatur das Maximum seiner Dichtigkeit, sein Volumen weit kleiner ist, als bei 0 °. Von nun ab erfolgt wieder eine sehr rasche Ausdehnung, und sein Volumen nach der Schmelzung ist ebenso groß, als hätte es sich bis zu dieser Temperatur regelmäßig und ebenso ausgedehnt, wie zwischen 0 ° und 44 °.

Auch bei gewissen Elementen kommen ähnliche Dinge vor, ferner dürfte die langsamere oder rascher vor sich gehende Erkaltung der Masse die Größe der Volumenänderung beeinflussen.

Dann hat sich gezeigt, daß in der flüssigen Glasmasse bei ihrem Übergang in den festen Zustand zwar eine Zusammenziehung stattfindet, daß diese aber während der Dauer des Erkaltungsprozesses nicht gleichmäßig vor sich geht, sondern daß sie am stärksten, beziehungsweise ausschließlich, beim Übergang der Glasmasse vom dünn- in den zähflüssigen Zustand auftritt.

Allerdings, so sagt Stübel, alle diese Erscheinungen belehren uns immer noch nicht darüber, was beim Magma erfolgt, wenn es aus den Tiefen des Erdkörpers aufsteigt und erkaltet. Nur darüber erhalten wir mit voller Gewißheit Aufschluß, „daß wir durchaus nicht berechtigt sind, auf einen einfachen, sich gleichmäßig abspielenden Erkaltungsvorgang innerhalb der Masse, auf eine einfache Zusammenziehung derselben zu schließen."

Was da in den Schloten der Feuerberge vor sich geht, wenn das glutflüssige Gestein aufsteigt, das wird wohl für immer dem Menschen ein Geheimnis und seinen Beobachtungen entzogen bleiben. Und auch die Dinge, die sich in der weißglühenden Lava abspielen, wenn sie aus den Eingeweiden der Erde hervorquillt, lassen sich der dabei ausgestrahlten ungeheuren Hitze wegen wohl niemals feststellen. Aber dennoch sind die Wahrnehmungen, die man hier und da bei großen Lavaergüssen gemacht hat, wenn auch nur aus großer Entfernung, nicht ganz wertlos geblieben, denn man konnte sehen, daß Schollen fester Lava auf der flüssigen Glutmasse schwimmen können, wie Eis auf Wasser. Hieraus würde aber folgen, daß feste Lava wirklich spezifisch leichter ist, als flüssige, also bei ihrem Übergang aus dem flüssigen Aggregatzustand in den festen eine Volumenvermehrung erfährt. Wenn auch nur in den seltensten Fällen bei derartigen Beobachtungen Irrtümer und Täuschungen ausgeschlossen erscheinen dürften, so kann man solche mehrfach beglaubigte Dinge doch nicht von der Hand weisen, ohne dieselben gewissenhaft geprüft zu haben. Zu diesen gehören die von Karl Friesach auf Hawaii im Kilauea-Krater gemachten Wahrnehmungen, die von Stübel herangezogen werden und das

Schwimmen eines vom Rande des Kraters in den dortigen Lavasee hineingestürzten Felsblockes auf dem Glutmeer beschreiben[1]).

Weitere Stützen für seine Ansicht findet der Dresdener Gelehrte darin, daß man bei künstlichen Schmelzmassen ähnliche Erfahrungen machen konnte. „Schlackenflüsse, die aus Hochöfen abgestochen werden und in ihrer chemischen Zusammensetzung den Laven ziemlich nahe stehen, bekunden ganz die gleiche Erscheinung. Bei solchen künstlichen Schmelzmassen ist die Fähigkeit der Erstarrungsrinde, auf der noch wenig unter Weißglut abgekühlten Flüssigkeit zu schwimmen, so groß, daß selbst freischwimmende Stücke nur durch Ausübung eines starken Druckes untergetaucht werden können und bei der Aufhebung desselben sofort wieder an die Oberfläche emporschnellen." Nicht etwa, daß diese erstarrten Stücke poröser wären, als die übrige Masse des Schmelzflusses; ein derartiger Strukturunterschied zwischen beiden Teilen besteht eben nicht. Man wird darum auch hier eine Volumenvergrößerung bei der Erstarrung zugeben müssen, und zwar eine bleibende und unzweifelhaft durch Wärmeabgabe hervorgerufen „und die Folge einer damit verbundenen molekularen Umlagerung, einer Auskristallisation gewisser chemischer Verbindungen, welcher in ihrer Ausbildung zu einer festen, dicht verwachsenen Masse kleiner, mehr oder weniger sichtbarer Mineralindividuen ein größeres Gesamtvolumen beanspruchen, als vordem in ihrer feuerflüssigen Lösung."

Die eigentliche Ursache des Eruptionsphänomens ist also weniger eine Volumenverminderung, die bisher als Folge des Erkaltungsvorganges angenommen wurde, sondern vielmehr eine Volumenvermehrung. Ob dieser letztere selbst mit einer Vergrößerung des Volumens abschließt, darauf kommt es nicht einmal an, von Gewicht für die Lehre Stübels ist in allererster

[1]) Nach den Ausführungen des amerikanischen Geologen Dutton schwimmen aber die erstarrten Lavaschollen keineswegs auf dem Glutbrei, „sondern sie sinken nach einem ersten Aufstieg, der nach dem Genannten auf die sich an sie anheftenden Dampfblasen zurückzuführen ist, alsbald wieder nieder." Kayser, Lehrbuch der Geologie, I, 3. Auflage, Stuttgart 1909, pg. 660.

Linie der Umstand, ob während des Erkaltungsprozesses überhaupt eine Volumenzunahme, eine Schwellung des Magmas stattfinden kann, oder nicht, und zwar in der Tiefe des magmatischen Herdes, einerlei, ob plötzlich oder langsam. Auch schon ein vorübergehendes Eintreten dieser Erscheinung genügte nach dem Genannten vollständig, um die Tätigkeit und den Bau der Vulkane besser zu erklären, als eine der übrigen Hypothesen dies vermöchte.

Wie schon früher gesagt und erläutert worden ist, nimmt Stübel kein gleichmäßig im Innern der Erde verteiltes Magmareservoir an, sondern eine größere Anzahl von Herden, deren Entstehung mit der Bildung der Panzerdecke zusammenhängt. Wir rufen uns diesen Umstand hier ins Gedächtnis zurück!

Die Stübelsche Lehre hat vielfache Anerkennung gefunden, und es läßt sich nicht leugnen, daß dieselbe, falls die Voraussetzung, von welcher sie ausgeht, die Volumenzunahme, die Schwellung des Magmas im Verlaufe des Erkaltungsprozesses, sich als richtig erwiese, einen großen Schritt vorwärts in der Vulkanologie bedeuten würde, weil sie die hier in Betracht kommenden Erscheinungen in natürlicherer und befriedigenderer Weise erklären könnte, als alle andern Hypothesen, von denen wir im Vorhergehenden die wichtigsten kennen gelernt haben. Mit dieser Volumenzunahme steht und fällt aber die Expansionslehre.

Nun liegt auf der Hand, daß eine Theorie von so einschneidender Wichtigkeit, eine Umwertung aller bisher in Geltung befindlichen vulkanischen Werte — wir werden im folgenden Abschnitt noch weitere Schlüsse und Anschauungen zu behandeln haben, die Stübel aus seiner Lehre gezogen hat —, neben großem Beifall auch lebhaften Widerspruch hervorrufen mußte. Das ist zunächst mehrfach von Doelter[1]) in Wien geschehen, der

[1]) Die Dichte des flüssigen und des festen Magmas. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie usf., 1901, 2 Bd., Stuttgart 1901.

Über die Frage der Ausdehnung der Silikate beim Erstarren. In: Monatsberichte der deutschen geol. Gesellschaft, 1907, No. 8—9.

experimentell nachweisen konnte, daß sich die Laven beim Erstarren zusammenziehen, also keine Ausdehnung dabei eintritt. „Es ist verlockend," sagt der Genannte, „eine Ausdehnung beim Erstarren zur Erklärung der vulkanischen Erscheinungen heranzuziehen, wobei aber übersehen wird, daß das Magma aus einem Gemenge von Silikatschmelzlösung und von Gasen besteht, und es viel naheliegender ist, letztere zur Erklärung zu benutzen, da ja die Ausdehnung des Silikats, selbst wenn sie nämlich erwiesen wäre, keine so große sein kann, um gewaltige, explosive Erscheinungen herbeizuführen, um so mehr, als die Erstarrung eines Silikats infolge der Unterkühlung langsam vor sich geht. Die Frage, ob Silikate sich beim Schmelzen ausdehnen, ist daher mehr von theoretischem Interesse als von praktischem für die Geologie, da gasfreies Magma ja nicht existiert."

Auch die Untersuchungen des amerikanischen Physikers Barus[1]) haben ergeben, daß die Silikate beim Schmelzen eine Ausdehnung erfahren, und keine Volumenverminderung, wie das die Stübelsche Theorie verlangt, und die Einwendungen, die in jüngster Zeit A. Fleischer in Breslau[2]) dagegen geltend gemacht hat, konnte Doelter[3]) überzeugend widerlegen. „Ob es sich in großen Tiefen des Erdinnern anders verhält, ob dort in der Tat, wie Tamann und andere annehmen[4])," sagt Emanuel Kayser, „eine Zone vorhanden ist, in der die Silikate beim Kristallisieren sich ausdehnen, muß bei der überaus komplizierten Beschaffenheit des Erdinnern und der Unsicherheit unsrer Vorstellungen über die dort herrschenden physikalischen Verhältnisse dahingestellt bleiben[5])." Die Anschauungen, welche man aus den

---

[1]) Bulletin United States Geological Survey, No. 103, 1893.

[2]) Untersuchungen zum Beweise der Ausdehnung des Basalts beim langsamen Erstarren. In: Monatsberichte der deutschen geol. Gesellschaft, 1907, No. 4.

[3]) loc. cit.

[4]) Kristallisieren und Schmelzen. Leipzig 1903. Wolff, loc. cit.

A. Johnsen, Tamanns Schmelzversuche und die modernen Vulkanhypothesen. In: Naturwissenschaftliche Rundschau, 21. Jahrg. 1906, No. 15.

[5]) loc. cit.

Ergebnissen der petrographischen Wissenschaft gewinnen muß, führen übrigens nach Bergeat[1]) zum berechtigten Schluß, daß die Tätigkeit der Vulkane von großen gemeinschaftlichen Magmazonen und nicht von individuell umgrenzten Sonderherden genährt wird, ein Umstand, auf welchen wir noch später näher zurückkommen werden.

---

[1]) Betrachtungen über die stoffliche Inhomogenität des Magmas im Erdinnern. In: Mitteilungen der Geograph. Gesellschaft in München, 3. Bd., 2. H., 1908.

Fünfter Abschnitt.

Der Mechanismus des Vulkans.

b) Der äußere Teil der Maschine.

Der vulkanische Herd und die Tiefe seiner Lage. De Lorenzos Versuche, diese letztere zu ermitteln. Mercallis Ansichten hierüber. Wie der Begriff „Vulkan" definiert wird. Maare. Das Aufschütten des Vulkankegels. Puy-Typus. Vesuv-Typus, Strato-Vulkan. Verhältnis der Höhe eines Vulkanberges zur Intensität seiner Kraftäußerungen. Caldera und Barranco. In die Luft geblasene und in die Tiefe gestürzte Vulkanberge. Somma und Somma-Typus. Konzentrische und exzentrische Vulkane. Veränderlichkeit in der Höhe des Berges und in der Ausbildungsweise seines Kraters. Gipfel- und Seitenausbrüche der Lava. Adventivkegel. Spaltenergüsse, Gjaus. Plateau- oder Spalten-Typus. Vulkane des Hawaii-Typus, Dyngjen, Schlackenvulkane. Die Laven und ihre Natur. Tiefen- und Ergußgesteine. Temperatur, Ausbildungsformen und Größen der Lavaströme. Homogene Vulkane. Staukegel. Laspeyres' Untersuchungen an den Lavakuppen des Siebengebirges. Die Felsnadel im Krater des Pelé. Absonderungsformen der Laven. Gauverwandschaften (Consanguinität) der Laven. Der Bau der Vulkanberge nach Alphons Stübel. Monogene und polygene Berge. Caldera-Berge. Der vulkanische Doppelberg in seinen Beziehungen zum peripherischen Herd. Deckenartige Ausbreitungen des Magmas. Die Mondvulkane sind nach Stübel den irdischen genetisch gleichwertig. Deckenartige Ausbreitung ist die eigentliche normale Ablagerungsform glutflüssigen Magmas.

Nachdem wir nun die wichtigsten Ansichten der Gegenwart über die treibende Kraft im Vulkan kennen gelernt haben, wenden wir uns jetzt zu den äußeren Teilen der Vulkanmaschine, nicht jedoch, ohne vorher noch unsere Kenntnisse resp. Anschauungen über den unterirdischen Behälter des Glutbreis, über den vulkanischen Herd etwas ergänzt zu haben. Da und dort in den früheren Abschnitten ist ja bereits schon

etwas davon die Rede gewesen. Man kann sich diesen Behälter, wir könnten auch sagen den Kessel der Maschine, in sehr verschiedener Weise vorstellen. So entweder als eine gewaltige, unterhalb der festen Erdrinde in den Tiefen des Planeten flutende Zone glutflüssiger Materie, aus der alle Vulkane gleichmäßig schöpfen, oder als lokalisierten, teils gänzlich vom noch glühenden Erdkern abgeschlossenen, teils mit diesem vielleicht noch in Verbindung stehenden Herd für jeden Vulkan, resp. für jede Vulkangruppe, ein schon von Athanasius Kircher ausgesprochener und auch sonst hin und wieder aufgetauchter Gedanke, den in neuester Zeit Alphons Stübel wieder, wenn auch in etwas andrer Weise zu verteidigen gesucht hat.

Auch von der Tiefe, in welcher sich die magmatische Masse befinden soll, ist schon etwas gesagt worden. Wir sahen, daß beispielsweise Branca für das Maargebiet von Urach einen in verhältnismäßig geringer Tiefe unter der Erdoberfläche befindlichen Schmelzherd angenommen hat, zu welcher Annahme ihn die im Bohrloch von Neuffen beobachtete geringe geothermische Tiefenstufe wesentlich gebracht hat. „Daß hier die Erdrinde viel dünner als an anderen Orten gewesen sein, daß der Schmelzfluß sich hier der Erdoberfläche stark genähert haben muß, das ist in hohem Grade wahrscheinlich“ [1]. Auch für andre ausgeblasene Vulkanschlote zieht Branca ähnliche Verhältnisse herbei. Er sagt: „Da man nun eine derart flache Lage nicht für einen zentralen Schmelzherd annehmen kann, so wird man dahin geführt, mindestens für die in Rede stehenden vulkanischen Gebiete zahlreiche, kleine, isolierte, flachliegende Schmelzherde vorauszusetzen.“ Das kann auf die von Stübel gewollte Weise geschehen, oder man könnte nach Branca auch daran denken, „daß sie (die Schmelzherde) Ausläufer des großen zentralen Herdes seien, die unter diesen vulkanischen Gebieten ja in ein besonders hohes Niveau hinaufreichten“, Ideen, die auch Pilar

[1]) Schwabens 125 Vulkan-Embryonen.

in Agram schon vor mehr als zwanzig Jahren vertrat, worauf der Berliner Gelehrte hinweist.

Ratzel[1]) ist ebenfalls der Meinung, daß glutflüssige Massen in der Erdrinde selbst anzunehmen seien, ebenso unregelmäßig verteilt, wie die Ausbrüche an der Erdoberfläche, und, wie der Schmelzpunkt der Laven das verlangt, kaum tiefer als 40—60 km, „Lavaherde, rings umschlossene Seen, die in nicht großer Tiefe so liegen, daß sie wohl miteinander in Fühlung kommen können, aber doch nicht notwendig voneinander abzuhängen brauchen."

Man hat auch schon versucht, Methoden zu ersinnen, vermittelst welcher die Tiefen vulkanischer Herde genauer, als nur aus der für den Schmelzfluß nötigen Temperatur berechnet werden könnten. Dies hat der italienische Forscher De Lorenzo[2]) in allerjüngster Zeit getan, indem er von der Masse des Materials ausgegangen ist, das den Schlot ursprünglich ausfüllen mußte und bei der Eruption herausbefördert wurde. Das erwähnte Material befindet sich jetzt an der Erdoberfläche in der Gestalt von Tuffen und Aschenkegeln, und wenn man für einen bestimmten Ausbruchspunkt die Menge des ausgeworfenen Gesteins einerseits, anderseits aber den Durchmesser des Vulkanschlotes kennt, kann man daraus auch die Länge dieses letzteren berechnen und feststellen, bis in welche Tiefen er hinabreichen müßte, um die herausgeschleuderten Massen aufnehmen zu können. De Lorenzos Untersuchungen ergaben für den Herd des Monte Nuovo 1248 m Tiefe, und für noch andere Vulkane aus den Phlegräischen Feldern die Werte von 1000 bis 2500 m. Die in den Schlot wieder zurükgefallenen Auswurfsmassen sind dabei, weil unbekannt, nicht berücksichtigt worden, und da dieselben in vielen Fällen zweifellos recht beträchtlich gewesen sind, so ist der Wert solcher Berechnungen, selbst wenn dieselben so genau wie nur möglich

---

[1]) Die Erde und das Leben, I, Leipzig und Wien, 1901.

[2]) Considerazioni sull' origine superficiale dei vulcani. In: Atti R. Accad. delle Scienze di Napoli, Napoli 1901.

angestellt worden sind, für die Wissenschaft immerhin ein verschwindend kleiner, ganz abgesehen von dem Umstand, daß zuweilen nur der allergeringste Teil der vom Vulkan geförderten Auswürflinge in der Nähe des Schlotes niederfällt, sondern oft recht weit fortgeschleudert und von den atmosphärischen Strömungen weggetragen wird.

Bei dem Versuche, die Tiefe des Vesuvherdes zu ermitteln, hat De Lorenzo auch die fremden, von diesem Vulkan ausgeworfenen Einschlüsse in Betracht gezogen, also die Gesteinsbrocken, die aus dem festen Untergrunde des Berges von dem aufsteigenden Magma losgebrochen und mit an die Erdoberfläche gebracht worden sind, und zwar solche aus tertiären, der Kreide und der Trias zugehörigen Ablagerungen. Die triassischen Auswürflinge werden, weil stark durch die glutigen Massen umgewandelt, als aus der unmittelbaren Nähe des Magmaherdes mit nach oben gebracht angenommen. Die ganze Schichtenfolge der genannten Sedimente mag etwa 3000 m Mächtigkeit besitzen, und in einer solchen Tiefe ungefähr soll das Magmareservoir des Vesuv fluten. De Lorenzos Anschauungen sind aber von Sabatini[1]), als von irrigen Voraussetzungen ausgehend, lebhaft bekämpft worden.

Ein andrer italienischer Vulkanologe G. Mercalli[2]) in Neapel ist der Frage nach der Tiefe der vulkanischen Herde ebenfalls näher getreten und bekennt sich auch zu der Annahme einer verhältnismäßig geringen Tiefe dieser letzteren. Die Erdbeben, so sagt er, die stets der Bildung eines neuen Vulkans oder der Wiederbelebung eines ruhenden Feuerberges vorherzugehen pflegen, sind, wie wir mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen dürfen, auf die ersten Bewegungsäußerungen zurückzuführen, welche das von seinem Herd an die Oberfläche aufsteigende Magma macht. Und diese Erschütterungen betreffen immer nur ein im Verhältnis zu ihrer Intensität sehr beschränktes Gebiet. Daraus

[1]) Osservazioni sulla profondità dei focolari vulcanici. In: Bolletino R. Comitate Geologico, Roma, 1902.

[2]) I vulcani attivi della terra, Milano, 1907.

ist zu schließen, daß ihr Hypozentrum, der vulkanische Herd, von dem sie ausgehen, nicht sehr tief gelegen sein kann. Es sind immer nur sehr lokalisierte Erscheinungen, so daß man wohl zum Schluß berechtigt ist, daß die Ein- und Zusammenbrüche an den Vulkanen, welche oftmals auf die großen Ausbrüche folgen, nicht nur auf den oberen Teil des Eruptivkanals beschränkt sein können, sondern auch im Zusammenhang mit dessen tiefer gelegenen Partien stehen müssen.

Sowohl die Zusammensetzung der Laven als auch die Einschlüsse der in der Tiefe anstehenden Gesteine, welche sie mit herauibringen, sind durchaus aus Stoffen gebildet, welche sich in den unserer Beobachtung zugänglichen Teilen der Erdrinde finden. Da wir nun annehmen müssen, daß im Erdinnern an schwereren Metallen, besonders an Eisen reichere Massen vorhanden sind, so beweist dieser Umstand, daß die vulkanischen Produkte nur aus verhältnismäßig geringer Tiefe stammen können.

Das läßt sich auch aus der Leichtigkeit folgern, mit der atmosphärisches oder Meerwasser bis zum vulkanischen Herd hinabzudringen vermögen[1]), ferner aus der Temperatur der ausgestoßenen Glutmassen, die nur wenig mehr als 1000° C beträgt, und die im vulkanischen Herd selbst zwischen 1300 und 1600° C groß sein dürfte[2]). Da wir nun eine geothermische Tiefenstufe von 40 m im Mittel annehmen können, so würde bereits in 40 km Tiefe eine Hitze von 1000° C herrschen. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß die tätigen Vulkane über Teilen der Erde liegen, in deren Tiefe aus speziellen Gründen die Temperatur eine höhere ist, als die für normale Verhältnisse aus der geothermischen Tiefenstufe sich ergebende, so daß hier die Hitze von 1000° C in einer bedeutend geringeren Tiefe als 40 km erreicht sein würde.

---

[1]) Mercalli huldigt dieser Ansicht in bezug auf die Herkunft des vulkanischen Wassers.

[2]) Auch C. Doelter, Zur Physik des Vulkanismus (Sitzungsber. der K. K. Akademie der Wissenschaften, 112, 1903) nimmt für die Temperatur der Vulkanherde 14—1500° C an.

Wenn man, wie vorhin gezeigt worden ist, über die treibende Kraft im Mechanismus der Vulkane und über die Tiefen, in denen sie ihren Sitz hat, recht verschiedener Ansicht sein kann, wenn darüber eine Reihe von Rastvorstellungen vorhanden sind, deren jede manches für sich und auch manches wider sich hat, so sollte man doch meinen, daß wenigstens über die äußeren, die an der Erdoberfläche befindlichen Teile der Maschine, über den eigentlichen Vulkan, einigermaßen Klarheit gebreitet sein würde. Leider ist das nicht immer der Fall! Denn wenn diese Bestandteile des Vulkanmechanismus unserer Beobachtung auch sehr viel zugänglicher sind, wenn wir hier sehen und greifen können, und nicht nur zu glauben brauchen, so ist doch auch in dieser Beziehung der persönlichen Auffassungsweise noch so viel und so großer Raum gelassen, daß diese die mannigfaltigsten und sich zuweilen widersprechenden Erklärungsversuche gezeitigt hat.

Suchen wir, bevor wir weitergehen, erst einmal festzustellen, wie der Begriff Vulkan von der Wissenschaft der Gegenwart definiert wird. So als ein der früheren Erdoberfläche aufgesetzter Berg, der durch einen Kanal mit der Erdtiefe in Verbindung steht oder gestanden hat, aus welcher das ihn aufbauende Material in glutflüssigem, zum Teil durch Gas- und Dampfexplosionen in zerspratztem Zustande emporgestiegen ist[1]). Nach Supan[2]) entsteht ein Vulkan dort, wo zwischen einem Lavaherde und der Erdoberfläche durch einen Kanal eine Verbindung hergestellt ist. Gleiches spricht Lapparent aus[3]), während, wie schon an andrer Stelle mitgeteilt worden ist, Stanislas Meunier vom Vulkan redet als von einem Apparat, vermittelst welches das Wasser seinen nach oben gerichteten Lauf aus den Tiefen des Planeten an dessen Oberfläche vollführt, und zwar durch den größten Teil der festen Erdrinde hindurch.

---

[1]) Credner, Elemente der Geologie, 9. Aufl., Leipzig, 1902.

[2]) Grundzüge der physischen Erdkunde. 3. Aufl., Leipzig, 1903.

[3]) Traité de géologie, 5 ème édt., Paris, 1906.

Ratzels[1]) Meinung lautet: „So wie in der Entstehungsgeschichte des Vulkans die Öffnung in der Erde dem Berge vorangeht, so bleibt auch später diese Öffnung, sei es Spalte oder Krater, steiler Felskrater oder trichterförmiger Aschenkegel, das Wichtigste am Vulkanberg. Man kann mit Seneca sagen: „In ipso monte non alimentum habet, sed viam", d. h. so viel wie: der Vulkanberg ist nebensächlich im Verhältnis zur Vulkanöffnung, und wenn wir einen vulkanischen Berg finden, entscheidet nur die Verbindung mit der Tiefe darüber, ob es wirklich ein Vulkan ist. In dieser Öffnung liegt der Weg von der Ursache zu den Wirkungen der vulkanischen Tätigkeit."

Wir sind mit Ratzel — und Supan sagt ja dasselbe, resp. es liegt dieser Sinn in seinen Worten —, der Ansicht, daß es nicht auf den Berg, aber in erster Linie auf die Öffnung ankommt, daß der erstere durchaus nur nebensächlicher Natur ist. Betrachten wir uns einmal näher, wie diese Öffnung wohl entstanden sein kann.

Wenn wir uns auf den Boden der Ausblasungstheorie stellen wollen, so ist die Folgerung logisch, daß diese Öffnung das obere Ausgangsende der Röhre bilden muß, welche die magmatischen Massen ausgeblasen haben. Auf solche Weise sind die Maare entstanden, so wie Branca diesen Begriff umschrieben hat. Da die dem aufsteigenden Magma voraneilenden gasigen und dampfförmigen Massen am oberen Ende der ausgeblasenen Röhre und im Augenblick, wo sie von Druck befreit die Erdoberfläche erreichen, eine Explosion erleiden müssen, so entsteht an der Berührungstelle der Röhre mit der Atmosphäre ein trichterartiges Gebilde, der Maarkessel oder Maartrichter, dessen größere oder geringere Ausbildung natürlich in erster Linie von der Heftigkeit der Explosion abhängen muß. „Aus jedem Maare wird sich bei Andauern der vulkanischen Tätigkeit ein Vulkan entwickeln können. Aber nicht jeder Vulkanberg

[1]) Die Erde und das Leben, I. Leipzig-Wien, 1901.

braucht aus einem Maare hervorgegangen zu sein," meint der Berliner Geologe, „zumal viele Vulkanberge sich auf Spalten, d. h. auf Bruchlinien der Erdrinde aufgebaut haben, welche den Schmelzmassen mehr oder minder ungehinderten Austritt gewährten. Diese Spalten mögen an der Ausbruchsstelle durch Gasexplosion erweitert worden sein, sind dann aber etwas ganz andres als unsere röhrenförmigen Maarkanäle, welche sich unabhängig von Spalten bildeten."

Ob also ein derartiger durch die Explosion hervorgebrachter Kessel ein Maar im strengen Sinne des Wortes ist, oder nur eine maarähnliche Bildung, das hängt lediglich davon ab, ob die Ausbruchsröhre zuvor ausgeblasen werden mußte, oder ob eine Spalte schon vorhanden war. Dies würde in den meisten Fällen recht schwer, wenn überhaupt zu entscheiden sein. Dann hat Branca diese Ansichten geäußert zu Zeiten, in denen er die ausgeblasenen Vulkanschlote immerhin noch als seltenere Erscheinungen ansah und dieser Lehre wohl noch nicht die allgemeinere Anwenduug geben wollte, wie in der Gegenwart, in welcher die Präexistenz der Spalte überhaupt problematisch für ihn geworden ist. Jedenfalls, ob so oder so, würden die Maare das erste Entwicklungsstadium eines Vulkans, einen Embryonalvulkan darstellen, und letztere Bezeichnung ist auch vielfach auf diese Gebilde angewendet worden. Aber diese Erscheinung wiederholt sich auch in Arealen, woselbst vulkanische Tätigkeit sich schon früher entfaltet hatte, so beispielsweise bei typisch ausgebildeten Vulkanbergen, bei denen aus irgendwelchem Grunde die neuen Kraftäußerungen des Magmas sich nicht im Hauptkrater selbst geltend machten, sondern an den Flanken oder am Fuße des Berges, sich hier einen neuen Ausweg öffnend. Denn eine allmähliche Verschiebung des Sitzes der vulkanischen Kräfte läßt sich manchmal nachweisen. Ein gutes Beispiel hierfür bietet der Latial-Vulkan, wie Sabatini das Albanergebirge bei Rom genannt hat. Dieser ist ein Doppelberg, wie der Vesuv, mit einer mächtigen äußeren Umwallung, von der nur etwa zwei

Dritteile erhalten geblieben sind, und die eine 20 km Durchmesser besitzende Basis hat. Der zerstörte Teil der Umwallung ist dem Westen zugekehrt, und auf der Linie ihres ehemaligen Verlaufes sind die Maare von Albano, von Nemi und etwas südwestlich davon abweichend dasjenige von Ariccia eingesenkt, die nacheinander, in der oben erwähnten Reihenfolge entstanden, indem der Sitz der Ausbruchstätigkeit sich, wie vorhin gesagt, vom Hauptkrater aber immer mehr nach Südwesten verzog, eine Wanderung, die sich auch in späterer Zeit noch fortgesetzt hat, wie Sabatini aus den in der Nähe der Meeresküste noch tätigen Fumarolen schließt.

Eine derartige Verschiebung des Ausbruchsortes zeigen ferner die Ciminischen Vulkane im Norden von Rom, woselbst solche Maare auftreten, welche im Verlaufe der Zeiten in rundliche Seen oder auch in sumpfige Niederungen umgewandelt worden sind, wenn der Eruptionsschlot nur kurze Zeit hindurch tätig war und dann verstopft wurde.

Faßt man den Begriff „Maar" in solchem allgemeineren Sinne, also für jede auf explosive Weise entstandene vulkanische Öffnung, die entweder nur eine geringfügige und niedrige, von den bei der Explosion und der nachfolgenden Tätigkeit zu Tage geförderten Auswurfsmassen gebildete Umwallung besitzt, oder auch gar keine, so scheinen derartige Gebilde weite Verbreitung auf Erden zu haben. Es wären negative Bodenformen, wie Supan sagt.

An die Entstehung der Maare hat sich schon in früheren Zeiten eine lebhafte Kontroverse geknüpft und man hat versucht, die Bildung dieser Dinge auch noch auf andre Weise zu erklären, so durch Einsturz, allerdings derartig, daß dieser Einbruch der Erdrinde veranlaßt worden sei durch vulkanische Kräfte, die durch allmähliches Einschmelzen der Erdfeste durch das Magma von unten herauf und dort, wo dieses in nur geringen Tiefen sich findet, die Kruste dünner machen, bis diese an den betreffenden Stellen zusammenbricht und der Maartrichter

zustande kommt. Man hat diese Annahme unter anderm auch durch den Umstand stützen wollen, daß manche Maare von keiner aus den ausgeworfenen Materialien bestehenden Umwallung umsäumt werden, daß also der Pfropfen fehle, der ja bei der Bildung durch Explosion hätte mit herausgeschleudert werden müssen. Es ist jedoch dabei nicht recht in Betracht gezogen worden, daß die Erosion diesen ja ebensogut zerstört haben könnte, und daß aus der Tatsache, daß zurzeit keine Umwallung mehr zu sehen ist, nicht gefolgert werden darf, eine solche hätte überhaupt immer gefehlt. Die Maare sind weitverbreitete Erscheinungen auf Erden (Italien, Auvergne, Island, Kanarische Inseln, Mexiko, Neuseeland, Japan, Madagaskar usf.), und kommen auch auf deutschem Grund und Boden vor, so u. a. in großer Anzahl in der Umgebung von Urach in Schwaben und in der Eifel. Hier zeigen diese Erscheinungen meist beträchtlichen Umfang und beträchtliche Tiefen, wie beispielsweise das Pulvermaar, auch der Gillenfelder See genannt (größter Durchmesser 735 m, 95 m Tiefe), das Weinfelder Maar (größter Durchmesser 530 m, 102 m Tiefe), das Gemünder Maar (größter Durchmesser 410 m, 62 m Tiefe), die Maare am Mosenberg bei Manderscheid (Fig. 23) u. a. m.

Öffnet man eine Flasche Selterswasser plötzlich, so entweicht mit der darin festgehaltenen Kohlensäure auch ein Teil des Wasserinhalts, den dieses Gas in feinzerstäubtem Zustande mit sich nach oben führt und damit einen äußerst feinen Sprühregen erzeugt. Genau so verhalten sich die beim Anfang einer Eruption dem aufsteigenden Magma voraneilenden Gas- und Dampfmassen (Fig. 24—26). Sie reißen aus der Lavasäule größere und kleinere Teile nach oben, die mit ihnen zusammen hoch in die Luft hinaufwirbeln, im Verlaufe ihrer aërischen Reise rasch erkalten und in der Nähe der Auswurfsöffnung wieder niederfallen. Feinere Teile nennt man vulkanische Sande und Aschen (Fig. 27), gröbere, erbsengroße und noch größere, Lapilli, ganz große — zuweilen sind es sogar gewaltige Stücke, — Bomben (Fig. 28—30). An

Fig. 23. Der Mosenberg mit Maar, Eifel.

der Erstarrungskruste dieser letzteren Gebilde sind oft noch die Spuren der drehenden Bewegungen zu erkennen, welche sie bei ihrer Fahrt durch die Lüfte durchzumachen hatten. Es liegt auf der Hand, daß, je kleiner und feiner die ausgeworfenen Teilchen sind, um so größer auch die Höhe und Entfernung

Fig. 24

Fig. 25.

sein wird, in welche der aus dem Schlote herausschießende Strahl heißer Dämpfe und Gase sie hinauf und fortzutragen vermag. Je nach der Intensität und der Dauer der explosiven Tätigkeit, die sich ja rasch hintereinander viele Male wiederholen kann, wird somit um die Umrandung der Auswurfsöffnung eine

Umwallung von verschieden großer Höhe und Mächtigkeit aufgeführt werden. Bei etwas andauernder Tätigkeit werden dann

Fig. 26.

Fig. 24—26. Mit losen Auswurfstoffen beladene Dampfmassen, Beginn einer Eruption am Vesuv.

Fig. 24. Erste Phase. Fig. 25. Zweite Phase. Fig. 26. Dritte Phase.

größere und kleinere Berge aufgeschüttet, und zwar im Zeitraum weniger Tage. Der 134 m hohe Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern hat vier Tage zu seiner Bildung gebraucht

Fig. 27. Aschenregen von weißlicher Farbe auf Lava. Vesuvausbruch vom April 1906.

(September 1538), und die Monti Rossi am Ätna, über 300 m hoch, nicht viel mehr. Es gibt noch allerhand Beispiele für derartige in kurzer Spanne Zeit entstandene Vulkane, so den Xorullo in Mexiko, der im September 1759 geboren wurde,

Fig. 28. Große Bombe vom Vesuv

oder den Izalco in Salvador, dessen Auftürmung auch in das Ende des 18. Jahrhunderts fällt. Bleibt es lediglich beim Aufschütten loser Auswurfsmassen, ohne daß Laven zu Tage gefördert würden, so stellt das neuerstandene Gebilde einen Schlacken- oder Aschenkegel dar, auf dessen Scheitel der Kommunikationskanal

Fig 29. Bombe vom Vesuv.

mit dem Magmaherde in einer mehr oder weniger rundlichen Öffnung, dem Krater, mündet, die sich entweder sehr bald nach der Tiefe zu verengen kann, oder, wie das beim Monte Nuovo der Fall ist, bis in den Fuß des Berges hinabreicht. Nun kommt es vor, daß mehrere solcher Schlackenkegel

aneinandergereiht stehen, so daß man eine allmähliche geringe Verschiebung der Eruptionsstelle oder mehrere nebeneinander annehmen muß. Figur 31 und 32 zeigen dies in schematischer Weise und zugleich auch, wie sich eine solche Reihe von Vulkanen darstellen wird, wenn der Zahn der Erosion ihre Kegel mehr oder weniger angefressen hat. Geikie nennt Vulkane von solchem Bau, also Schlackenkegel, zugleich übrigens auch die kleinste Abart der Vulkane auf Erden, Feuerberge nach dem Puy-Typus. Wenn bei einem Vulkan dieser Gattung nach Aufschüttung des Kegels noch Lavamassen ausgeflossen sind, so konnte es geschehen, daß der Berg dadurch auf einer Seite oder auch auf zweien von dem herausdrängenden

Fig. 30. Birnenförmige Bombe, Laacher See.

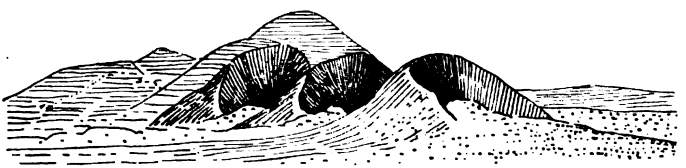


Fig. 31. Schlackenkegel mit allmählicher Verschiebung des Eruptionszentrums. (Nach Reyer.)

Glutstrom aufgerissen wurde und seine Wandungen breite Öffnungen erhielten, welche diesem den Austritt gewährten. Für den Fall, daß das auf zwei verschiedenen Seiten des Berges statthatte, konnten dann zwei Lavaströme in entgegengesetzter Richtung aus dem Kegel fließen. Man kann an den Puys der Auvergne, wo diese vulkanischen Gebilde zuerst bekannt geworden sind und der Erscheinung den Namen gegeben haben, die verschiedensten diesbezüglichen Modifikationen beobachten.

Fig. 32. Vulkane vom Puy-Typus, vor und nach der Zerstörung. (Nach Geikie).

Wirft der Schlot bald lose Massen aus, oder entsendet er bald Lavaströme, so daß mit der Zeit ein Berg entstehen muß, der aus mehr oder minder regelmäßigen Wechsellagerungen dieser Produkte aufgebaut wird, die vom Vulkanschachte abwärts nach der Peripherie des Berges hin größere oder geringere Neigung aufweisen, dann wird ein Vulkan nach dem Vesuv-Typus Geikies, ein Schicht- oder Stratovulkan hergestellt. Bei weiterem Fortschreiten der eruptiven Tätigkeit entstehen daher gewaltige Berge, deren Flanken von vielen parasitischen Adventivkegeln besetzt sind, die schließlich in ihren Kraftäußerungen dem väterlichen Organismus nichts nachgeben werden. Eine Abart des Vesuv-Typus ist der Hawaii-Typus, der aber nur selten vorkommt (auf Hawaii) und durch Förderung dünnflüssiger Lavamassen, die flache aber sehr hohe Kegel aufbauen, ausgezeichnet ist, ohne irgendwelchen wesentlichen Beitrag durch lose Auswürflinge. Ratzel hat für diese Erscheinungen auch den Namen Massenvulkane gebraucht.

Das Gesamtgefälle der Stratovulkane ist meist nicht groß; so beträgt dasjenige des Vesuv, der schon zu den steilen Vulkankegeln zu rechnen ist, nur wenig über 30° (Titelbild). Als Idealgestalt eines Stratovulkans kann der heilige Berg Japans, der Fudschi-Yama gelten (Vignette auf dem Umschlag dieses Buches), mit seinem 3745 m hohen Kegel und seinem an 183 m tiefen Krater, dessen Geburt einer alten japanischen Tradition zufolge im Jahre 294 v. Chr. erfolgt sein soll. Das Profil eines normal ausgebildeten hohen Vulkanberges von seinem Fuße bis zum Gipfel gezogen gleicht manchmal leicht einer nach innen geschwungenen, konkaven Linie (die „logarithmische Böschungslinie" von Milne); man hatte bisher angenommen, daß diese Konkavität der Böschungslinie zu den Attributen eines regelrecht gebauten Vulkankegels gehörte; durch G. Linck[1]) ist jedoch vor kurzem experimentell

[1]) Über die äußere Form und den inneren Bau der Vulkane, mit einem Anhang über die Dünen. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie usf., Jubiläumsband 1907.

nachgewiesen worden, daß dieselbe keine primäre Form darstellt. Letztere muß im Gegenteil ursprünglich konvex sein. Die Konkavität ist darauf zurückzuführen, daß, besonders bei Vulkanen, die seit längerer Zeit außer Tätigkeit sind, „die Lagerung der losen Teile durch die Erschütterungen der Luft und des Bodens gestört werden, und bei solchen Störungen findet ein Nachsinken der Massen statt, dessen Endeffekt eine vom Kraterrand ausgehende konkave Böschungslinie ist. Denudation und Erosion tragen auch noch das Ihrige dazu bei!

Bei der Feststellung der Höhe solcher Feuerberge (wie überhaupt aller in Bergform auftretenden Vulkane) ist zwischen ihrer absoluten und ihrer relativen Höhe zu unterscheiden. Besonders bei den Inselvulkanen! Die absolute Höhe entspricht der Meereshöhe des Berges, und diese letztere kann zuweilen beträchtlich kleiner sein, als die relative, welche der Gesamthöhe des aus vulkanischem Material bestehenden Kegels gleichkommt. Die absolute Höhe des Stromboli (Fig. 33) auf den Liparen ist 926 m groß, während das Meer in seiner Umgebung über 2000 m Tiefe besitzt, so daß der unterseeische Sockel des Berges ebenfalls an 2000 m hoch sein muß. Demnach würde die relative Höhe des Stromboli an 2926 m betragen. Der Vulkan Sahama in Peru erreicht 6990 m Meereshöhe; der eigentliche Vulkanberg ist aber nur an 1500 m hoch, und erhebt sich auf einer in 5000 m über dem Meer belegenen Hochebene. Ähnliches trifft für den Cotopaxi (5960 m) und den Chimborazo (6310 m) in Ecuador zu, deren absolute Höhe beinahe 3000 m beträgt.

Mit der Höhe eines Vulkans steht die Intensität seiner Kraftäußerungen jedoch in keinem Zusammenhang. Im Gegenteil! Die niedrigeren Berge sind oft in dieser Hinsicht die allerschlimmsten. Man vergegenwärtige sich nur die Katastrophen der Montagne Pelée (1353 m) auf Martinique oder die verheerenden Ausbrüche des Vesuv (12—1300 m)! Der Coseguina (1098 m) (Fig. 34) in Nicaragua hat am 19. und 20. Januar 1835 einen Ausbruch erlebt, der zu den gewaltigsten gehört, von

denen die Geschichte des Vulkanismus im 19. Jahrhundert zu berichten weiß. Man hat die Aschenmassen, welche dieser Unhold auswarf, auf 50 Kubikkilometer berechnet[1]). Auch der Hekla auf Island, um hier noch ein weiteres Beispiel anzuführen, gehört zu den tätigsten und heftigsten Vulkanen der Gegenwart, obwohl er nur eine Höhe von 1560 m erreicht (Fig. 35)!

Fig. 33. Der Stromboli, Liparen.

Diese eben geschilderten Vulkanberge sind bezüglich ihrer Bildungsweise nicht etwa nur auf die jüngsten geologischen Zeiten oder auf die Gegenwart beschränkt; dieselben sind, wie Geikie für die Britischen Inseln nachgewiesen hat, auch in ganz alten

Fig. 34. Der Coseguina in Nicaragua, einer der fürchterlichsten Vulkane der Gegenwart. 1098 Meter über Meer hoch. (Nach Seebach.)

Phasen in der Entwicklungsgeschichte unsres Planeten auf durchaus analoge Art zustande gekommen. Wie ein von der Erosion im Laufe der Äonen zerstörter geologisch alter Feuerberg vom Vesuv-Typus in der Gegenwart aussehen kann, das zeigt Fig. 36.

[1]) Montessus de Ballore, Tremblements de terre et éruptions volcaniques au Centre-Amérique, Dijon 1888.

Bevor es so weit kommt, wie diese Abbildung erläutert, hat der Vulkan selbstverständlicherweise eine lange Reihe von verschiedenen Rückbildungsphasen durchzumachen gehabt, die begonnen haben müssen, sobald die aufbauenden Kräfte zum Stillstand gelangten, die Tätigkeit, wenigstens die Laven und

Fig. 35. Der Hekla auf Island.

lose Auswurfsmassen fördernde, also aufhörte. Denn ein eventuell später noch eintretender Solfatarenzustand würde viel mehr gesteinszerstörend als gesteinsbildend wirken müssen, kraft der zersetzenden und zerfressenden Eigenschaften der dabei arbeitenden Gase und Dämpfe. Der Kegel wird nach und nach abgetragen, die an seinen Wandungen hinabrinnenden Atmosphärilien reißen mit der Zeit Schluchten und Talungen in seine Flanken. und so wird aus dem ehemals stolz in die Lüfte ragenden hohen Berge eine von hohen Wänden eingefaßte Vulkanruine.

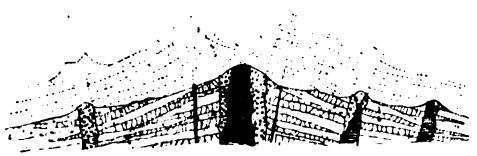


Fig. 36. Vulkan von Somma-Typus, vor und nach der Zerstörung. (Nach Geikie.)

Es gibt auf der zu den Kanarischen Eilanden zugehörigen kleinen Insel Palma „eine ellipsoidische Einsenkung von etwa

7 km Ostwest- und 5 km Nordsüd-Erstreckung bei annähernd 1700 m Tiefe, welche in ihr in Gestalt einer Kugelkalotte von etwa 2420—2470 m Meereshöhe sich aus dem Meer erhebende Nordhälfte eingefurcht ist," die Caldera (vom spanischen Wort-Kessel[1]) (Fig. 37). Leopold von Buch sah dieses Gebilde als einen Erhebungs- und Einsturzkrater an; K. von Fritsch und

Fig. 37. Blick in die Caldera von La Palma. Nach einer von Herrn Prof. Dr. Gagel gütigst mitgeteilten Photographie.

Reiß haben später[2]) den bis dahin lediglich als Ortsbezeichnung gebrauchten Namen im weitern Sinne verwendet und haben darunter „große Zirkustäler oder Kesseltäler" verstanden, die sich an Vulkane knüpfen. Die Genesis solcher Calderen konnte nach der Meinung der Ebengenannten durch explosive oder durch erodierende Gewalten, eventuell auch durch beide Faktoren zugleich hervorgerufen werden. Seitdem hat man unter dem

[1]) C. Gagel, Die Caldera von La Palma. In: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin, 1908, No. 3 und 4.

[2]) Geologische Beschreibung der Insel Teneriffa. Winterthur 1868.

Begriff Caldera in der Regel auffallend weite, kraterähnliche Hohlformen in Vulkangebieten angesehen, besonders weite kesselförmige Vulkanruinen verstanden, und in diesem Sinne wurde denn auch dieses spanische Wort in der vulkanologischen Literatur angewendet, ohne Berücksichtigung der Art und Weise, welche der Entstehung der betreffenden Calderen zugrunde lag. Stübel[1]) und seine Anhänger haben alsdann den Begriff Caldera enger umschrieben, indem sie denselben auf vulkanische Einbruchsgebilde übertrugen, von denen noch späterhin die Rede sein wird. Mit Rücksicht darauf, daß somit eine Reihe von Gebilden, deren Genesis nicht nur auf sehr verschiedene Weise vor sich gegangen war, sondern die auch sehr verschiedene Formen zeigen, unter dem Begriff Caldera zusammengeworfen wurden, und im Hinblick auf die Ergebnisse seiner Untersuchungen an Ort und Stelle, wonach „die Caldera von La Palma kein Gebilde des Vulkanismus, sondern der Erosion" ist, so „daß dann „die" Caldera gar keine „Caldera" wäre", schlug Gagel vor, diesen Terminus sowohl in genetischer als auch in morphologischer Hinsicht abzuschaffen. Wohingegen Jaeger[2]) für die Beibehaltung dieses Wortes eingetreten ist.

Spethmann[3]) hat ebenfalls und zu wiederholten Malen der Ansicht Ausdruck gegeben, den Begriff Caldera nicht aus der Literatur auszumerzen. Er umschreibt denselben uns in anderer Weise und sagt: „Nach dem, was ich aus eigener Anschauung kenne oder von dem ich mir durch Karten- oder

---

[1]) Über die genetische Verschiedenheit vulkanischer Berge. Leipzig 1903, u. a. a. O.; von Knebel, Studien zur Oberflächengestaltung der Inseln Palma und Ferro. In: Globus, 1906.

[2]) Krater, Caldera und Barranco. Eine Bemerkung zur morphologischen und vulkanologischen Literatur. In: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin, 1908.

[3]) Vulkanologische Forschungen im östlichen Zentralisland. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc., Beilage. Band 26, Stüttgart 1908.

Überblick über die Ergebnisse der v. Knebelschen Islandexpedition im Jahre 1907. In: Gaea, 45. Jahrgang 1909, Heft 9.

Der Begriff „Caldera". In: Globus, 95. Bd., No. 16, Braunschweig, April 1909.

Literaturstudium ein Bild gemacht habe, erscheint es am treffendsten, unter Caldera einen relativen Begriff zu verstehen, der die unverhältnismäßige Größe einer noch vollständig erhaltenen oder schon in den Phasen der Zerstörung befindlichen kraterartigen Hohlform zu der sonstigen Proportionalität eines Vulkanbaues ausdrückt, wobei unter einem proportioniert gebauten Vulkan die Schulbeispiele: der heutige Aetna, der heutige Stromboli, der gegenwärtige Vesuv (nicht die Somma) verstanden werden. Ob sich das Gebilde gegenwärtig im Stadium vulkanischer Tätigkeit befindet oder nicht, ist nebensächlich und nicht ausschlaggebend. Nimmt man das Wort Caldera in dem hier gefaßten morphologischen Sinn, aber neutral im Hinblick auf die Genesis, so ist es nunmehr leicht, durch ein weiteres, vorgefügtes Wort, das sich am besten nicht an eine bestimmte Lokalität knüpft, den Entwicklungsgang der Caldera zu kennzeichnen und dementsprechend in Explosions- Einbruchs- und Erosionscalderen, vielleicht auch in Rückfluss- und Einschmelzcalderen zu sondern."

Der mächtige und regelmäßig geformte Gebirgsdom des Nordens von La Palma ist von zahlreichen, steilwandigen und zum Teil sehr tiefen Schluchten, den Barrancos zerschnitten, die in ziemlicher Entfernung vom Rande des Caldera beginnen und nach allen Seiten hin nach dem Meere zu verlaufen. Eine einzige derselben, der Gran Barranco oder Barranco de las Angustias (Fig. 38), zerschneidet nicht nur den Außenrand dieser mächtigen Kugelkalotte, sondern dringt bis in ihr Innerstes, bis in die Caldera selbst vor, diese mit der Außenwelt verbindend. Die Bezeichnung Barranco ist von diesem typischen Vorkommen auf alle ähnlichen schlucht- oder talartigen Einschnitte in dem Gesteinswall der Calderen auf Erden übertragen worden.

Falls aber, wenn auch nach jahrtausendelanger Pause, die unterirdischen Gewalten an der alten Ausbruchsstelle wieder aufs neue rege werden und explosiv vorgehen, dann wird durch die Wucht der neuen Eruption der Berg in die Luft gesprengt, sein

Material in Milliarden von Stücken und Stückchen zerstäubt und von den herausschießenden Gasen und Dämpfen hoch in die Atmosphäre hinaufgewirbelt. Weite Strecken der Erdoberfläche werden damit bedeckt. Wir brauchen nur an den Ausbruch des

Fig. 38. Blick in den Barranco de las Angustias. Nach einer von Herrn Prof. Dr. Gagel gütigst mitgeteilten Photographie.

Krakatau im Jahre 1883 zu erinnern, oder an denjenigen des Bandai-San in Japan, der am 15. Juli 1888 seit Menschengedenken zum ersten Male wieder in Aktion getreten ist. 1213 Millionen Kubikmeter lose Auswurfsmassen im Gewicht von 2826290 Millionen kg. sind bei diesem Anlaß aus dem Berge ausgesprengt

worden. Bei dieser letzten Explosion ist wohl kaum viel Material aus der Tiefe heraufgefördert worden, denn der Berg verlor dabei an 6–700 m Höhe, während der Krakatau Bimssteine und Aschen aus seinem Schlunde ausgeworfen hat (Fig. 39). Die letzteren fielen in einem Umkreis von 500 km vom Vulkan nieder, und die Gesamtmasse des zerstäubten und ausgeschleuderten Materials wird auf 18 cbkm veranschlagt. 30000 m hoch soll die Rauch-, Dampf- und Aschensäule in die Lüfte hinaufgestiegen sein, und die darin fein verteilten Partikelchen vulkanischen Staubes sind hier von den atmosphärischen Strömungen erfaßt und zweimal um die ganze Erde herumgeführt worden, die bekannten Dämmerungserscheinungen hervorbringend, welche denjenigen unserer Leser, die dreißig Jahre zurückdenken können, noch in Erinnerung sein werden. Der Paroxysmus des Krakatau, die größte derartige Erscheinung in historischen Zeiten, und seine Folgen haben die Gemüter der Menschen damals nicht wenig erregt. Daß übrigens bei diesem Ereignis, das zwei Drittel der Krakatau-Insel vernichtete, ein gewaltsamer Zusammensturz des Vulkans in die Tiefe stattgefunden haben muß, das scheint außer Zweifel zu stehen (Fig. 40). Ein derartiger Einbruch des alten Berges beim Wiedererwachen der vulkanischen Kräfte dürfte nicht so selten sein, und nicht immer wird bei solchem Anlaß der frühere Kegel (oder Teile desselben) in die Luft geblasen. Solche Bruchfelder, Zonen des Einsturzes im alten Vulkangebäude beim Wiederauftritt der Tätigkeit an dieser Stelle, hat Bergeat auf den Liparen, so am Stromboli beobachtet, entgegen der Ansicht von Poulett-Scrope, nach welcher ein Teil des alten Vulkans weggeblasen worden sein soll. „Die Massen eines Vulkans sind dem glutflüssigen Magma, das stellenweise oder ganz und gar das Erdinnere erfüllt, am nächsten. Ihre Hänge können, besonders bei tätigen oder kaum erloschenen Vulkanen, als die dünnsten und deshalb schwächsten Stellen der Erdkruste betrachtet werden. Kleine Einstürze von Vulkanen erklärt Naumann damit, daß Schmelzhitze und die unterirdischen

Fig. 39. Bimssteinfelder an der Nordostseite des Krakatau, gebildet durch den Ausbruch im Jahre 1883

Explosionen der im Krater auf- und niederwogenden Lava im Inneren des Vulkans große Zertrümmerungen und Aushöhlungen bewirkten, in welch letztere dann Teile des Vulkans hinabbrachen. Eine rasche Erschöpfung der Lava infolge eines heftigen Ausbruches dürfte wohl manchmal zur Entstehung eines Massendefektes unter dem Vulkan und zu einem Nachsinken seiner Wandungen führen. Zwischen den Schollen des Einsturzgebietes aber bieten sich Öffnungen für erneute Ausbrüche."

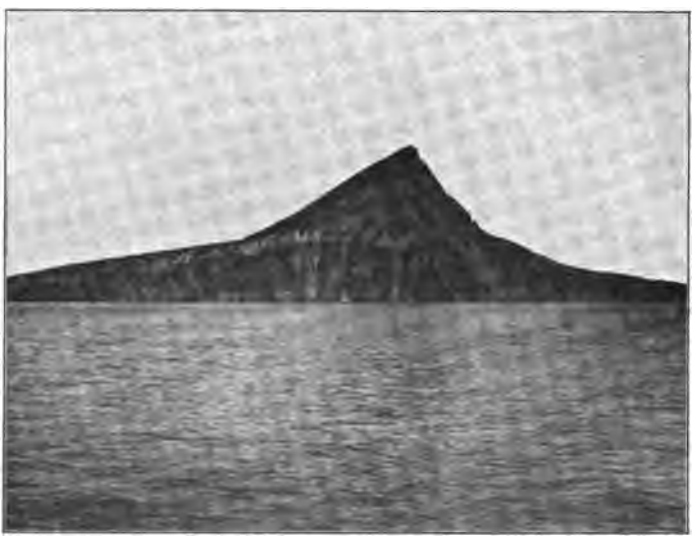


Fig. 40. Der übriggebliebene Teil des Krakatau nach dem Ausbruch von 1883. Von der Ostseite aus gesehen. (Nach Photographie.)

An der Stelle des zerstörten alten Berges bildet sich der neue, und zwar so, daß, wenn der letztere über dem Schlot des ersteren aufgebaut wird, ein Vulkankegel entsteht, den der übriggebliebene Teil des alten Berges einfaßt. Ein treffendes Beispiel dafür ist der Vesuv. Vor der ersten historisch beglaubigten Eruption dieses Vulkans im Jahre 79 n. Chr. erhob sich hier eine gewaltige Caldera, die wohl in die Kategorie der Explosionscalderen gehört hat. Diese ist anläßlich des eben erwähnten Ausbruchs teilweise in die Lüfte hinaufgewirbelt worden;

ihre Fundamente sind noch an den verschiedensten Stellen vorhanden, im Norden und Nordosten blieb sogar ihre Umwallung, die Somma, noch erhalten. Vom Zentrum dieser ehemaligen Caldera erhebt sich der jetzige Vesuv, der also sehr wahrscheinlicher Weise erst vor der Eruption im Jahre 79 unserer Zeitrechnung datiert, wenn man in neuerer Zeit auch Versuche gemacht hat, zu beweisen, daß dieser Vesuvkegel schon vorher vorhanden gewesen sei. Ein auf solche Weise gebauter Doppelvulkan wird als Sommavulkan bezeichnet, und würde im Falle, den wir hier angezogen haben, ein konzentrischer Vulkan sein (Fig. 41). Der Sommatypus ist einer der verbreitesten in der Gegenwart, und ein noch schöneres Beispiel dafür, als der Vesuv selbst, ist der Vulkan der Insel Fogo auf den Capverden (Fig. 42).

Wenn die neue Ausbruchsöffnung nicht mehr an die Stelle der alten zu liegen kommt, also verschoben wird, wenn, wie das beim Ätna der Fall ist, der neue Krater sich auf der Umwallung des alten Vulkans festsetzt, dann hätten wir einen exzentrischen Vulkanberg. In ost-südostlicher Richtung klafft in den Flanken dieses sizilianischen Feuerberges eine gewaltige und tiefe, von riesigen Wänden eingefaßte Scharte auf, das „Val del Bove". Hier hat sich in vorgeschichtlichen Tagen der erste Ätna, der Urätna erhoben, bis dann ein ungeheurer Ausbruch, ein Kataklysmus von der Art, wie am Bandai-San oder am Krakatau, den Berg vernichtete und an dessen Stelle das Val del Bove herausgeblasen hat!

Eine jede neue Eruption von größerer Stärke wird selbstverständlicherweise den neugebildeten Vulkankegel wieder verändern, denselben bald erhöhen, bald erniedrigen, und ebenso einen ständigen Wechsel in der Ausbildung seiner Krateröffnung hervorbringen. Bleiben wir beim Vesuv, als Beispiel! Der Kegel dieses Vulkans ist bald höher, bald niedriger als die Somma gewesen, und der Krater des Berges hat nicht nur im Verlaufe längerer Zeitperioden, sondern auch ein- und derselben Eruption

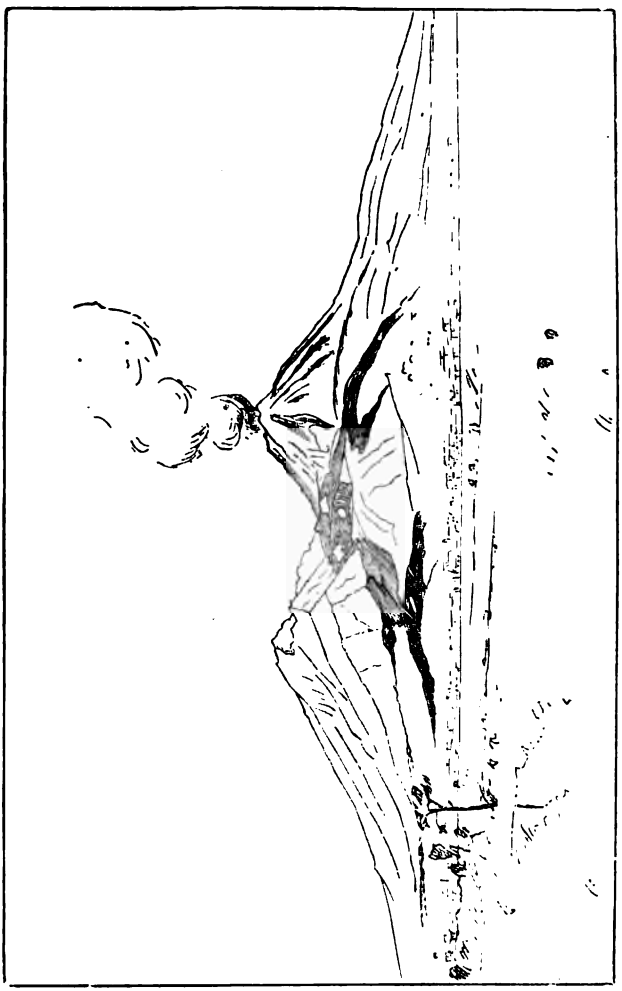


Fig. 41. Der Vesuv nach dem Ausbruch vom Jahre 1872. Nach A. Heim.
Links die Somma, rechts der eigentliche Vesuvkegel.

die allerverschiedensten Bilder gezeigt (Fig. 43—46). Die Größe und der Umfang des Kraters ist übrigens unabhängig von den Dimensionen des Berges selbst, wie die einem Werke des berühmten englischen Geologen Judd entnommenen vergleichenden Skizzen (Fig. 47) zeigen.

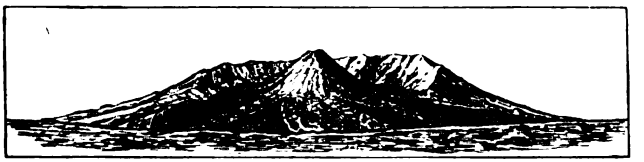


Fig. 42. Der Vulkan von Fogo auf den Capverden. Nach Stübel.

Das glutflüssige Blut der Vulkane, die Lava, trägt selbstverständlich das allermeiste zur Verfestigung der Berge bei. Die Laven treten entweder aus dem Gipfelkrater aus, oder aus Spalten, welche in die Flanken des Kegels eingerissen werden.

Fig. 43. Der Gipfelkrater des Vesuv im Jahre 1895

Und wenn das erstere der Fall ist, dann kommt auch hier die Höhe des Berges nicht in Betracht, denn man hat schon Lavaausbrüche aus dem Hauptkrater des Cotopaxi hervorkommen sehen, also in einer Meereshöhe von 6000 m, und wenn der Ätna aus seinem Gipfelschlunde den feurigen Brei herausspeit, so geschieht

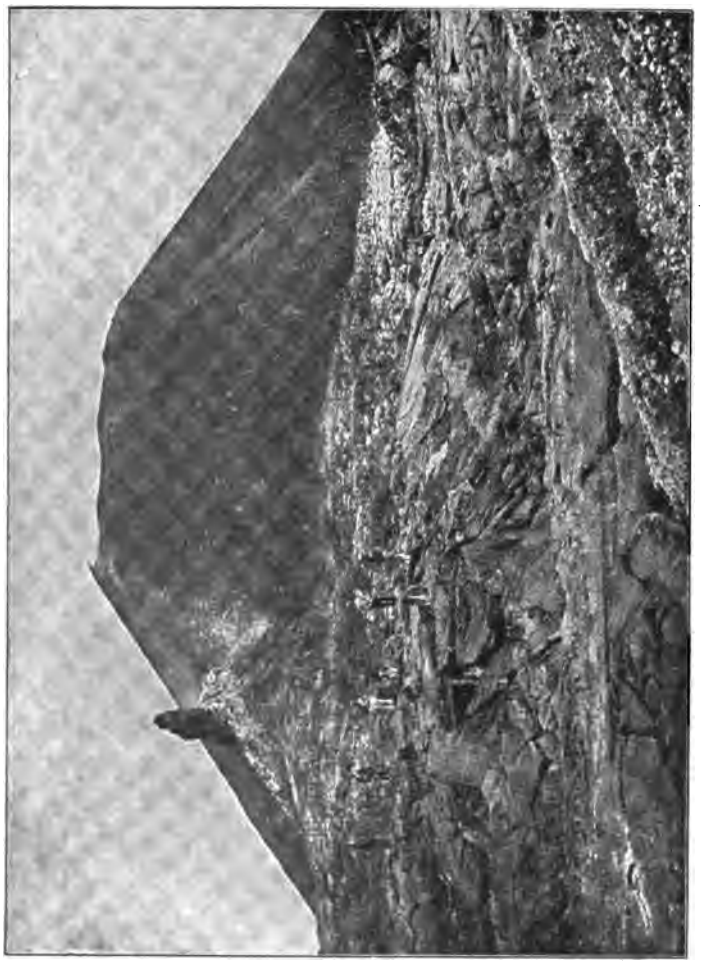


Fig. 44. Der Krater des Vesuv im Juli 1880.

das ebenfalls an einer Stelle, die 3000 m über dem Meeresspiegel erhaben ist (Fig. 48). Man kann sich danach ein Bild von

Fig. 45. Der neue Krater des Vesuv nach dem großen Ausbruch im Jahre 1906.

der Gewalt und dem Druck der Triebkraft machen, die den Glutfluß aus den Tiefen der Erde zu derartigen Höhen hinaufsendet!

Fig. 46. Gipfelkrater des Ätna.

Solange die Lava nicht in den Berg selbst eingetreten ist, solange ihre Säule noch innerhalb der Erdfeste, die diesem als

Fundament dient, sich aufwärtsbewegt, ist natürlich der Druck der den Schlot umgebenden Gesteinsmauern ein so beträchtlicher, daß die feurige Materie nicht seitwärts auszubrechen vermag, es sei denn, sie träfe Spalten und Klüfte an, in welche sie hineindringen könnte. Aber sobald die Lavasäule sich im Vulkankegel selbst befindet, also in den unteren Teil seines Baues, in seinen Fuß einfließt, wird der Widerstand, welchen die umschließenden Wandungen ihr entgegensetzen können, ein wesentlich geringerer werden, als bisher. Wenn dann der Berg kein ganz festes Gefüge hat, — und das ist bei den meisten Vulkanen doch kaum der Fall —, der Aufstieg der Laven aber unter beträchtlichem Druck erfolgt, wenn ferner vielleicht vollends noch der obere Teil der Kraterröhre verstopft ist und dem ersten Anprall der Lavamassen ein Hindernis entgegenbringt, dann spaltet sich unter der Last des Druckes der Berg, und die glutige Masse fließt nicht mehr aus dem Gipfelkrater, sondern seitlich aus (Fig. 49). Zuweilen geschieht das schon in der Nähe des Bergfußes, andere Male wieder erst in halber oder in dreiviertel Höhe des Kegels. Meist beginnt eine solche Seiteneruption gerade so, wie eine aus dem Gipfelkrater erfolgende, und die aufgerissene Spalte hat dabei genau denselben Wert wie die Hauptspalte, resp. der Hauptschlot des Feuerberges. Zuerst werden dann die losen Auswurfsmassen herausgeschleudert und bilden die sogenannten Adventiv- oder Parasitenkegel,

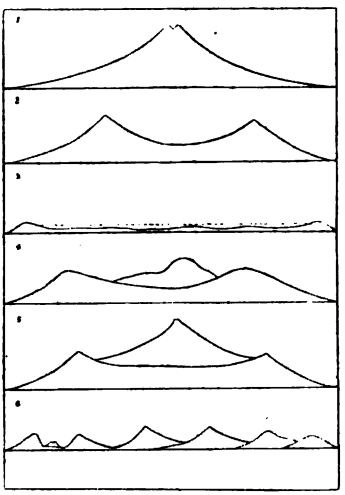


Fig. 47. Die Größe einiger Vulkane im Verhältnis zu ihren Kraterbildungen.
1. Fudschi-Yama in Japan.
2. Hverfjall auf Island.
3. Kratersee von Bracciano bei Rom.
4. Rocca Monfina bei Neapel.
5. Pic von Teneriffa.
6. Die aneinander gereihten Vulkankegel auf Vulcano in den Liparen.
(Nach Judd.)

kleinere Vulkane auf dem Muttervulkan, Dinge, die manchmal beträchtliche Höhe erreichen können (Fig. 50). Die Monte Rossi, von denen schon früher die Rede gewesen ist, sind 324 m hoch geworden. Eine derartige Spalte ist mit solchen Adventivkegeln oft dicht besetzt (Fig. 51—52). Beispielsweise konnte man im Jahre 1853 auf einer an der Nordwand des Vesuvkegels entstandenen Spalte zwölf Parasitenvulkane beobachten.

Solche Lavamassen ergießenden Spalten können auch entstehen, ohne daß ein eigentlicher Vulkanberg vorhanden zu sein

Fig. 48. Gipfelausbruch am Ätna, am 18. Mai 1886.

braucht. Das ist beispielsweise in Südamerika (Chile und Argentinien)[1]) und auf der Insel Island der Fall. Ja, noch mehr! Eine derartige Spaltenbildung mit eruptiver Tätigkeit, ohne eigentliche Vulkanbaue, das ist eine der charakteristischsten Eigenschaften in den Äußerungen der vulkanischen Kraft auf diesem Eiland! Diese Vulkanspalten dürften nach Sapper[2]) zwar durch

---

[1]) R. Hauthal, die Vulkangebiete in Chile und Argentinien. In: Petermanns Geogr Mitteilungen 1903, Heft 5.

[2]) Über einige isländische Vulkanspalten und Vulkanreihen. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie, usf., 26. Beilageband, Stuttgart, 1908.

Siehe darüber auch: Th. Thoroddsen, Die Bruchlinien Islands und ihre Be-

Fig. 49. Seitenausbruch am Ätna, am 20. Mai 1886.

vulkanische Kraft geöffnet worden sein; sie sind aber höchstwahrscheinlich tektonisch angelegt und es ist nicht ausgeschlossen, daß auch zuweilen tektonische Vorgänge mit den vulkanischen Ausbruch veranlaßt haben. Der Isländer nennt diese Gebilde „Gjau" und versteht darunter eine offene Spalte. „Der Boden erscheint wie von Rissen zerschnitten, die in der Länge mehrere Kilometer erreichen können und sich dann oberflächlich schließen, hingegen in der Breite im Durchschnitt nur 3—5 m erzielen. Senkrecht stürzen beiderseits die Wände ab, in der Tiefe schimmert ein ewiger Firn und Schnee, oder aber das Auge schaut in ein schwarzes Dunkel, in dessen Finsterheit es auch

Fig. 50. Adventivkegel am Ätna im Ausbruch.

am Sommermittag nichts zu erkennen vermag. Gar nicht selten ist jedoch die primäre Tiefe nachträglich erniedrigt worden, wie infolge Abbröckelns von den Wänden, infolge Auffüllung durch von Wind verfrachteten Staub und durch Einschwemmen von Tuffen und anderen leicht beweglichen und lockeren Bodenarten von seiten aquatiler Kräfte. Manches, was heute an Verwerfungslinien als Reibungsbreccie gedeutet wird, dürfte lediglich nur Produkt destruierender Kräfte sein"[1]).

ziehungen zu den Vulkanen. In: Petermanns Mitteilungen, 1905, Heft 3, und: Island, Grundriß der Geographie und Geologie. Ibid., Ergänzungsheft 152 und 153, 1905/06.

[1]) Hans Spethmann, Überblick über die Ergebnisse der von Knebelschen Islandexpedition vom Jahre 1907.

Genetisch sind die Gjaus keine einheitlichen Gebilde; sie sind einmal auf tektonische Bewegungen zurückzuführen, also Verwerfungserscheinungen aequivalent, und können alsdann mit Eruptionen im Zusammenhang stehen, oder aber sie sind Zerrungsgebilde, veranlaßt dadurch, „daß einem Stück Erdboden einseitig das Widerlager entzogen wird". Dann aber können Gjaus auch hervorgerufen werden durch das Zerreissen des erkaltenden und sich zusammenziehenden Magmas. Während die ersteren beiden

Fig. 51. Seitenausbruch am Ätna, vom Monte Capriolo aus gesehen, am 17. Juli 1892.

Formen in ihrem Verlauf unabhängig sind von der Ausdehnung der Lavaströme, diese oft quer durchschneiden und sich oft kilometerweit von ihnen entfernt fortsetzen, beschränken sich die Kontraktionsgjaus lediglich auf die Lavaflächen. Eine der bedeutendsten dieser vulkanischen Eruptionsspalten ist diejenige, welche die Gegend um den Lakiberg, eine aus palagonitischen Tuffen bestehende Erhebung von etwa 850 m Meereshöhe durchzieht, östlich vom Skaptarjökull, und zwar in einer Länge von

20 km [1]). Nicht durchgehends läuft hier die Spalte durch. Am Lakiberg selbst kam es nicht zu einem Aufklaffen derselben, trotzdem die Kluft ihn durchquert, aber nahe am Fuße des Berges beginnt sie und hat nicht weniger als fünfhundert kleinen, auf der Spalte aufsitzenden und reihenweise geordneten Feuerschlünden das Leben gegeben, von denen dreiunddreißig, die größten, etwa 100—150 m Durchmesser und 50—100 m Höhe aufweisen, während die kleinsten 4—5 m Durchmesser bei 2 m Höhe besitzen. Alle diese Gebilde sind aufgeworfene Schlackenkegel, durch welche die Lavamassen ihren Austritt genommen haben.

Fig. 52. Adventiv- oder Parasitenkegel an den Gehängen des Atna

Ein Areal von 565 qkm wird von den Laven des Laki bedeckt, die etwa 12 320 Millonen Kubikmeter Inhalt haben dürften, wozu noch mindestens 3 Kubikkilometer ausgeschleuderter Lockermassen hinzukommen. Der ganze Vorgang, zugleich der größte Lavaerguß, von dem die Geschichte weiß, hat im Jahre 1783 stattgefunden und sieben Monate in Anspruch genommen, davon fünf der intensivsten Tätigkeit.

[1]) Helland, Lakiskratere og lavastroeme, Kristiania, 1886.

Thoroddsen, Geogr. Tidskrift, Kopenhagen, 1879, und: Oversigt over de islandske Vulkaners Historie. Kopenhagen, 1882.

Island, Grundriß der Geographie u. Geologie, u. a. a. O.

Aber die Lava fließt, wie Thoroddsen[1]) berichtet hat, auch zuweilen durch und unmittelbar aus der aufgerissenen Spalte heraus, ohne daß Schlackenkegel dabei zur Ausbildung kämen, wie beim Laki. Das kann man an der 30 km langen, im Jahre 1893 von dem genannten Forscher entdeckten großen Eldgja-Spalte (zu deutsch: Feuerkluft) sehen, woselbst an drei Stellen ein ruhiges Hervordringen des Glutbreies stattgefunden hat; nur auf der südlichen Verlängerung der Spalte, da, wo diese enger und schmäler wird, ist eine Reihe größerer Schlackenkegel aufgeschüttet worden. Die besagten drei Lavaströme bedeckten ein Areal von 693 qkm und besitzen ein Volumen von 9325 Millionen Kubikmeter. Welchen Umfang die Lavaergüsse auf Island überhaupt gehabt haben, das mag der Umstand illustrieren, daß eine dieser ausgedehnten Lavawüsten, ein förmliches Lavameer, wie Spethmann[2]) diese Gebilde nennt, der Odádahraun 4000 qkm einnimmt, während die Masse ihres Materials genügen würde, um das ganze Königreich Dänemark 5 m hoch damit zu bedecken! „Schwarz und ernst breitet es sich hin. Lediglich bei sonnigem Wetter lagert ein dunkelblauer bis violetter Dunst über ihm, der das Düster mildert und ihm einige freundliche Züge verleiht, sonst aber ist es das Reich des starren Todes, „die Wüste des Geächteten", wie sie der Isländer nennt. Kein Wesen vermag in ihm sein Leben zu fristen, und nur zu oft erzählt das gebleichte Gebein, auf das der Forscher stößt, beredt davon, daß hier Hippe und Sense unbezähmbar schalten und walten. Es sind die Reste von Schafen, die sich in der

---

[1]) Geograf. Tidskrift. Kopenhagen. 1894.

Sapper, Über einige isländische Vulkanspalten u. Vulkanreihen. Vgl. über diese Dinge auch: Spethmann, Beiträge zur Kenntnis des Vulkanismus am Mückensee auf Island. In: Globus, Bd. 26, No. 13, Oktober 1909.

[2]) Überblick über die Ergebnisse der von Knebelschen Islandexpedition vom Jahre 1907.

Siehe darüber auch: K. Schneider, Vulkanologische Studien aus Island, Böhmen, Italien. In: Lotos, 1906, No. 7 u. 8, Prag, 1906, und: Beiträge zur physikalischen Geographie Islands. In: Petermanns Geograph. Mitteilungen, 1907, Heft 8.

Unwirtsamkeit verirrten oder verstiegen und vom Tod des Verhungerns heimgesucht wurden“ (Spethmann).

Dieser Plateau- oder Spaltentypus der Vulkane (nach Geikie) ist in früheren Zeiten, im Tertiär, ein sehr verbreiteter auf Erden gewesen (Indien, Nordwestliches Europa, Westamerika usf.), kommt aber auch in älteren Bildungen vor und soll nach Stübel, wie wir noch kennen lernen werden, die eigentliche und normale Ablagerungsform des Magmas gewesen sein.

Als Hawaii-Typus, von dem bereits oben kurz die Rede war, bezeichnet Geikie sehr hohe, aber nur durch dünne flüssige Lavamassen aufgebaute Vulkankegel, nach den Feuerbergen des Hawaii-Inseln so genannt. Diese, der Mauna-Kea, 4208 m hoch und der Mauna-Loa, 4168 m hoch, sind sehr flach ansteigende, schildförmige Erhebungen mit einem mittleren Gefälle von 6—8°. Wenn man aber mit Ratzel den im Meere ruhenden Fuß dieser Riesenvulkane mit in Betracht zieht, so dürften diese lediglich aus Lavaergüssen gebildeten gewaltigen Feuerberge etwa 10000 m Höhe erreichen. Lowthian Green hat ihre Lavamassen auf mehr als 300000 Kubikkilometer berechnet, eine Lavadecke von 32 bis 33 m Dicke ließe sich damit über ganz Europa ausbreiten! Der zurzeit allein tätige Mauna-Loa besitzt zwei Krater. In 1230 m Meereshöhe trägt er an seinen Flanken den Kilauea (Fig. 53), eine elliptische Einsenkung von etwa 12 km Umfang und 4900 m größtem Durchmesser, die von an 200 m hohen Steilwänden eingefaßt wird, und in dieser finden sich wiederum andere Vertiefungen, in welchen die glühenden Lavamassen brodelnd auf- und niederwallen, förmliche Feuerseen (Fig. 54), die manchmal derartig anschwellen, daß der Glutbrei sich über ihren Rand ergießt. Zuweilen jedoch sackt die glutige Materie ganz und gar zurück, und an Stelle des feurigen Sees gähnt dann ein dunkler Abgrund dem Beschauer entgegen (Fig. 55).

Der Mokua Weo-Weo, der Gipfelkrater des Mauna-Loa, ist ebenfalls elliptisch gestaltet und zeigt ungefähr 6 km größten

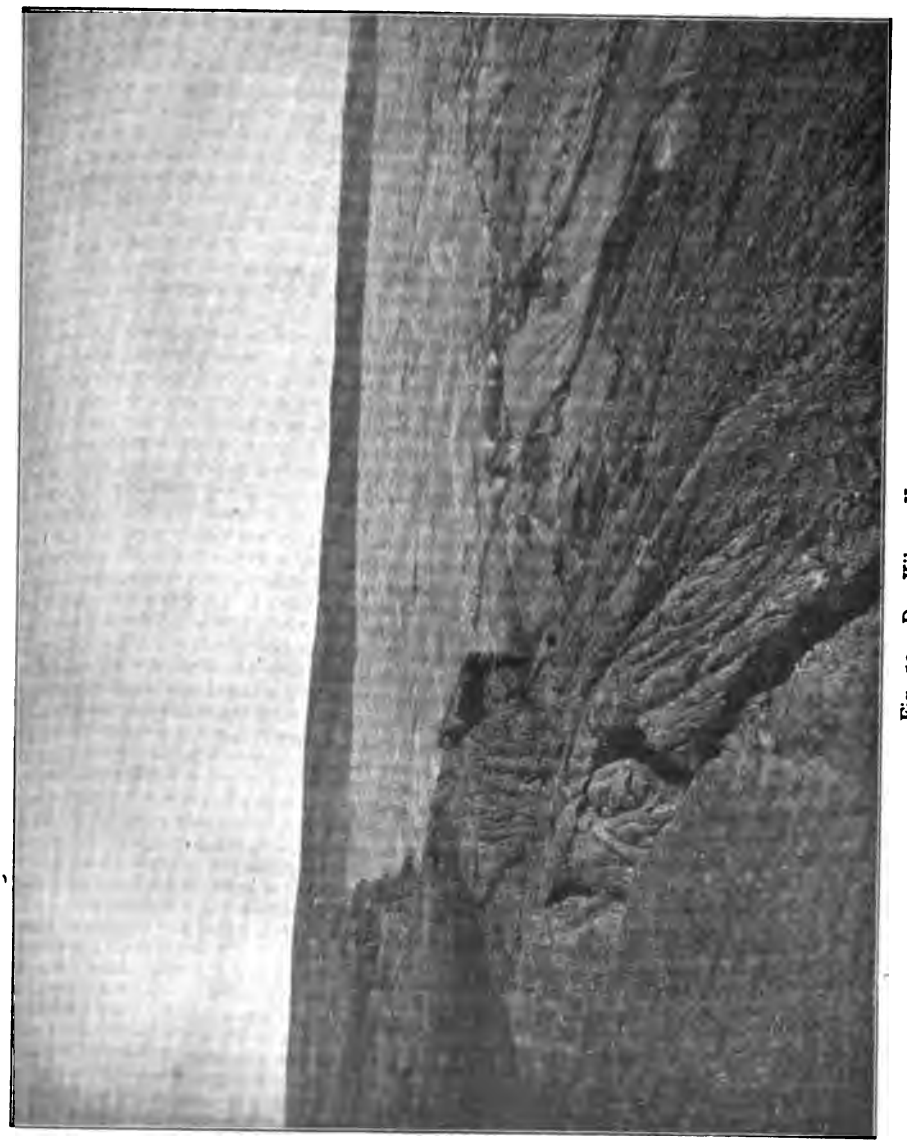


Fig. 53. Der Kilauea-Krater.

und 2800 m kleinsten Durchmesser, bei 9 Quadratkilometer Flächenausdehnung. Er zeigt die Erscheinung der Feuerseen nicht, wirft aber auch größere Lavamengen aus, und bei seinen Ausbrüchen treten zuweilen großartige feurige Springbrunnen des Glutbreis auf, die bis 200 m hoch in die Lüfte steigen und ein unbeschreiblich schönes Beispiel darbieten. Interessant ist der Umstand, daß beide Krater von einander unabhängig Ergüsse zeigen. Da ihre gegenseitige Entfernung von einander an 32 km beträgt, so sind beide Feuerschlünde auch schon als besondere Vulkane aufgefaßt worden, die wohl aber zweifellos von einem gemeinsamen Magmabehälter gespeist werden dürften [1]).

Nahe mit den Vulkanen von Hawaii verwandte Dinge dürften die isländischen Feuerberge haben, welche die Eingeborenen als Dyngjen bezeichnen (von Dyngja, Haufen). Isoliert stehend, erheben sie sich aus einer kreisförmigen Basis großen Areals unter einem nur wenige Grade betragenden Neigungswinkel, der so minimal ist, daß man während einer Besteigung bei dem Klettern über die unebene und rauhe Lavaoberfläche den Gipfel nur zu oft aus den Augen verliert. Hat man ihn, gewöhnlich nach mancherlei unerwünschten Umwegen, erklommen, so steht man unvermutet vor einer kreisförmigen oder elliptischen Vertiefung, die sich in der Regel mehr oder minder trichterförmig nach der Tiefe zuspitzt und am Grunde vom Schutt der abbröckelnden Wände oder von einem nie schwindenden Schnee erfüllt zu sein pflegt. Die schwarze, finstere Masse dieser Vulkankegel, die durchweg aus schwerem, basischem Gestein bestehen, ist eine charakteristische Erscheinung Innerislands, die der feinsinnigen und scharf beobachtenden Bevölkerung nicht entgangen ist. Sie wird in der Literatur gewöhnlich unter der Bezeichnung Schild, Kuppe oder Dom erwähnt. Doch

[1]) Dana, James, D. Characteristics of Volcanoes, with contribution of facts and principles from the Hawaiian Islands. London, 1890.

Brigham, William, T. The volcanoes of Kilauea and Mauna-Loa on the Islands of Hawaii. Honolulu, 1909.

Fig. 54. Der „Feuersee" (feurigflüssige Lava) im Kilauea, Krater des Mauna-Loa auf Hawaii, im Februar 1893.

reproduzieren diese Worte nicht den richtigen Eindruck [1]). Spethmann [2]), Thoroddsen [3]) und Sapper [4]) sind der Ansicht, die Dyngjen seien dadurch entstanden, daß aus einem Krater eine große Zahl vulkanischer Ergüsse stattgefunden habe, aus denen der Kegel nach und nach aufgebaut worden sei, und auch K. Schneider [5]) hat dieser Meinung Ausdruck gegeben. Knebel [6]) hingegen hat die Dyngjen als monogene Vulkane im Sinne Stübel aufgefaßt, also als den Effekt eines einzigen gewaltigen

Fig. 55. Der Feuersee im Kilauea, bei zurücksinkendem Lavaspiegel.

Ausbruchs. Auf diese Theorie von Stübel werden wir noch später eingehender zurückkommen.

---

[1]) Hans Spethmann, Überblick über die Ergebnisse der v. Knebelschen Islandexpedition vom Jahre 1907. In: Gaea, 45. Jahrg., 1909, Heft 1 und 2. Stuttgart, 1909.

[2]) Innerisland. In: Globus, Bd. 94, No. 13, Oktober 1908.

Beiträge zur Kenntnis des Vulkanismus am Mückensee auf Island. In: Globus, Bd. 96, No. 13, Oktober 1909.

[3]) Island, Grundriß der Geographie und Geologie. Petermanns Mitteilungen, Ergänzungshefte No. 152 und 153, Gotha, 1905 und 1906.

[4]) Über einige isländische Lavavulkane. In: Monatsberichte der deutschen geolog. Gesellschaft, Bd. 59, No. 3, Berlin, 1907.

[5]) Vulkanologische Studien aus Island, Böhmen, Italien. In: Lotos, 1906, No. 7 u. 8, Prag, 1906.

[6]) Über die Lavavulkane auf Island. In: Monatsbericht der deutschen geol. Gesellschaft, 1906.

Die Dyngjen sind auf Island häufig vorkommende vulkanische Formen. Eines der größten Gebilde dieser Art ist der Skjaldbreit (Schildbreit), dessen Gehänge durchschnittlich um 3° nach allen Seiten hin abfallen, mit einer Basis von etwa 12 km Durchmesser. Sein Gipfel erhebt sich etwa 330 m über seine Umgebung, die Meereshöhe dürfte nach Knebel ca. 780 m erreichen. Das Gewicht der Lavamasse des Skjaldbreit hat Knebel auf nicht weniger als 600000 Millionen Zentner geschätzt!

An die Dyngjen schließen sich diejenigen vulkanischen Gebilde, die Spethmann [1]) Schlackenvulkane, Sapper [2]) Schlackenkrater und Schweißschlackengebilde genannt haben und die für Ostisland geradezu bezeichnend sind, wohl enge an. Sie sind nicht etwa aus Lapilli, Aschen und Lavaströmen, also aus losem Material stratisch aufgebaut, sondern aus Schlacken, die nacheinander aus dem Krater ausgeworfen wurden um sich unmittelbar am Schlot zu einem einfassenden Ring oder Wall anzuhäufen. Da sie noch in plastischem Zustand aufeinanderfielen, wurden diese Schlacken vor dem Erstarren zusammengeschweißt. Die Schlackenvulkane besitzen meist nur kleine Dimensionen, sind aber auf Island verbreiteter, als die Dyngjen.

Der aus dem Vulkanschlot in glutflüssigem Zustande austretende Gesteinsbrei, die Lava, kann eine sehr verschiedene mineralische Zusammensetzung besitzen, und diese bleibt sich in dieser Hinsicht bei einem und demselben Feuerberg auch nicht immer gleich. Durch äußerst komplizierte und der Erläuterung an dieser Stelle sich entziehende chemisch-physikalische Vorgänge im Magma kann dieses sich in eine Anzahl von Schmelzflüssen spalten und die Entstehung von sehr verschiedenartigen Laven verursachen. Aus dem Studium der vorweltlichen Laven, der eruptiven Gesteine, hat man gelernt, daß unter verschiedenen physikalischen Bedingungen aus einem und demselben Magma Gesteine von sehr verschiedener mineralischer

[1]) loc. cit. [2]) loc. cit.

Zusammensetzung sich bilden können, und daß auch bezüglich der Struktur, des Gefüges der Gesteine, die im Magma enthaltenen gasförmigen Substanzen, die Mineralbildner, eine wesentliche und wichtige Rolle zu spielen berufen sind[1]).

Die Hauptbestandteile sämtlicher Laven sind Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd, Eisenoxydul, Magnesia und Kalk, Kali und Natron, und neben diesen finden sich noch eine Anzahl untergeordneter Verbindungen, so Phosphor-, Titansäure, Schwefel, Zirkon, Barium, Strontium, Wasser, Mangan, Nickel, Chrom, Arsen, Antimon, Chlor, Fluor, Bor, usw. Laven mit einem Durchschnittsgehalt von 65 % und darüber an Kieselsäure nennt man saure, solche mit einem Kieselsäuregehalt von 52—65 % neutrale, diejenigen endlich mit einer 52 % nicht erreichenden Kieselsäuremenge basische.

Alles das, was in glutflüssigem Zustande aus einem Vulkan heraustritt oder aus einem ehemaligen Vulkan herausgequollen ist, das ist im Sinne der Wissenschaft Lava. Das geht eigentaus dem Vorhergesagten schon von selbst hervor. Da alle Eruptivgesteine unserer Erde einmal in einem solchen glutflüssigen Stadium sich befunden haben, sind sie also Laven, immerhin mit einer Einschränkung. Es gibt eine Gruppe von aus Glutfluß erstarrten Gesteinen, die trotzdem keine Laven sind und auch niemals solche waren, weil sie nicht aus einem Vulkan ausgeflossen, überhaupt in feurigflüssigem Zustande nicht an die Erdoberfläche getreten sind. Man nennt diese Abteilung der Eruptivgesteine die Tiefengesteine. Auf dem Wege ihres Durchbruchs aus der Tiefe der Erde an die Oberfläche des Planeten sind dieselben innerhalb des festen Gesteinsmantels stecken geblieben und aus irgendwelchen Gründen nicht zum

[1]) Allgemeine verständliche Darstellungen dieses schwierigen Kapitels der Vulkanologie resp. Petrographie findet man in: Doelter, Petrogenesis, Braunschweig, 1906, 13. Band von: Die Wissenschaft, Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien, Vieweg und Sohn, und in: Alfred Bergeat, Betrachtungen über die stoffliche Inhomogenität des Magmas im Erdinneren (Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München, 3. Bd., 2. Heft, 1908).

Erguß auf der Erdoberfläche gelangt, mußten also dort unter ganz anderen Verhältnissen, zweifellos bei sehr viel höherer Temperatur und unter sehr viel bedeutenderem und anhaltenderem Druck erstarren, als dies bei denjenigen Magmamassen der Fall ist und war, die sich zum Tageslicht hindurchringen und sich hier ergießen konnten, bei den Ergußgesteinen. Erst später, durch geotektonische Vorgänge, wie Hebung oder Gebirgsbildung, oder auch durch die Wirkungen der Erosion sind diese Tiefengesteine, nachdem sie schon längst erstarrt und auskristallisiert waren, an die Erdoberfläche gelangt und der menschlichen Beobachtung dadurch zugänglich geworden. Die Laccolithe, von denen schon früher die Rede gewesen ist, sind in der Tiefe erstarrte Gesteinsintrusionen. Die Natur der Tiefengesteine ist eine körnige; die Gesteinsgemengteile sind alle ungefähr von gleicher Größe, und der ganze Gesteinsteig, aus dem sie auskristallisierten, hat sich solchermaßen individualisiert. Es ist nichts davon mehr übrig geblieben, es hat sich die ganze Masse des Magmas in die Mineralkörner umgebildet. Ein typisches Beispiel eines derartigen Tiefengesteines ist der Granit.

Anders bei den Ergußsteinen! Diesen sind die porphyrischen und glasigen Strukturen eigentümlich. Die erstere besteht darin, daß das Gefüge des Gesteines aus einer Grundmasse besteht, die meist dicht ist, und zwar derartig, daß der allergrößte Teil des Gesteinsteiges erstarrte, bevor sich die Mineralien aus demselben ausscheiden, auskristallisieren konnten. Sie läßt zuweilen auch die Anfänge der Mineralbildung, ein embryonales Stadium in der Mineralausscheidung erkennen, und in derselben, in der Basis, sind einzelne bald mehr, bald weniger große und deutlich ausgestaltete Mineralien, die Einsprenglinge eingeschlossen. Oder diese letzeren fehlen ganz oder fast ganz, und die Basis ist durchaus glasig entwickelt, es ist also nicht einmal zu einem Anfang der Auskristallisierung der einzelnen Mineralgemengteile gekommen.

Während man die Tiefengesteine nicht als Laven im eigentlichen Sinne des Wortes ansprechen darf, muß dieser Charakter den Ergußsteinen zuerkannt werden, auch dann, wenn jede Spur des Vulkanschlotes, aus welchem sie einmal emporgestiegen sind, längst zerstört und verwischt sein sollte. Bisweilen treten aber auch an diesen Ergußgesteinen die charakteristischen Merkmale der Lavaströme der Gegenwart noch deutlich hervor, wie die nebenstehende Abbildung 56, die Oberfläche eines Lavastromes

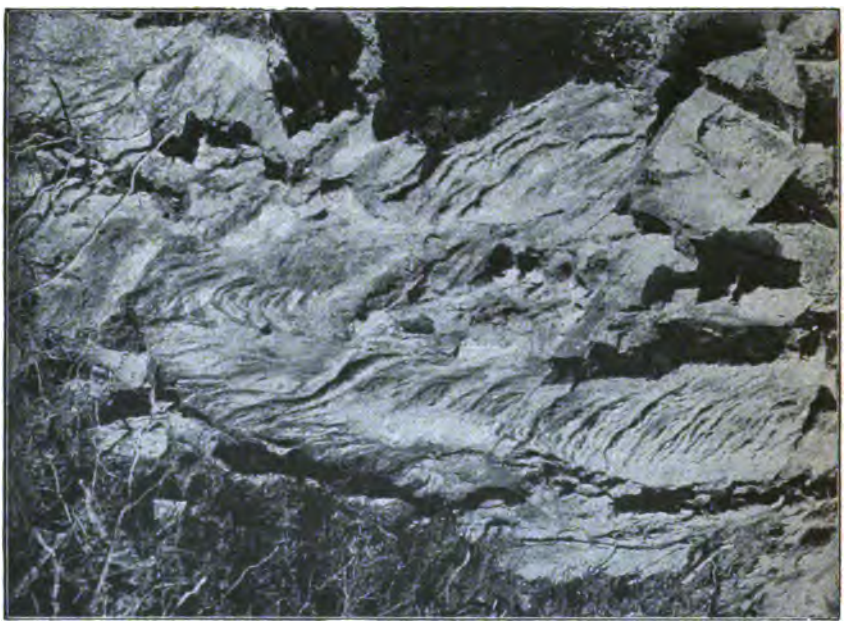


Fig. 56. Oberfläche eines Lavastromes der Vorwelt, Oberscheld bei Dillenburg
Nach R. Brauns.

der Vorwelt (Deckdiabas) darstellend. Und wie die Laven der Vorwelt, so sind auch die von den Feuerbergen der Gegenwart geförderten glutigen Massen porphyrisch oder glasig entwickelt. Der Unterschied zwischen Tiefengesteinen und Ergußgesteinen ist kein in ihrer Zusammensetzung, wohl aber ein in ihrem Gefüge begründeter, und dieses wird wiederum bedingt von der größeren oder geringeren Schnelligkeit, mit welcher der Gesteinsbrei sich abzukühlen vermocht hat. Es liegt auf der Hand, daß beispiels-

weise eine laccolithische Intrusion, die äonenlang unter dem Druck der über ihr lastenden Gesteinsreihen, in die sie sich hineingeschoben hat, steht, sehr viel langsamer und sehr viel vollkommener erstarren kann, als eine Masse des gleichen Magmas, das sich auf die Erdoberfläche ergossen hat. Hier mußten Druck und Temperatur sich rasch vermindern, und auch die Mineralbildner, weil sogleich aus dem Magma entweichend, nicht zur gleichen Entfaltung ihrer Wirksamkeit gelangen, wie das bei den Tiefengesteinen der Fall war[1]).

Wenn wir zwei der verbreitetsten Eruptivgesteine auf Erden betrachten, den Granit und den Quarzporphyr, so haben beide ein voneinander sehr verschiedenes Aussehen. Der Granit ein körniges, wohl auskristallisiertes Gestein, in dessen Masse man die diese Felsart zusammensetzenden Mineralien, Feldspat, Quarz und Glimmer meist mit unbewaffnetem Auge klar und deutlich erkennen kann. Dagegen der Quarzporphyr eine homogen erscheinende Masse, aus der nur einzelne Einsprenglinge hervorstechen, und die man auch bei Anwendung der stärksten Vergrößerungen nicht in die obengenannten Mineralien zerlegen könnte. Und dennoch ist es ein und dasselbe Magma, ein Gesteinsbrei ein und derselben chemischen Mischung, aus dem beide so verschiedenartig sich präsentierende Gesteinstypen hervorgegangen sind. Das läßt sich auch durch die chemische Analyse nachweisen!

Es ist eines der kompliziertesten und schwierigsten Kapitel der Gesteinslehre, das wir soeben angeschnitten haben und das weiter zu verfolgen wir uns versagen müssen. Denn es gehört

---

[1]) Die Tiefe, in der sich die Tiefengesteine bilden, soll nach den Ausführungen von Brögger (Eruptionsfolge der triadischen Gesteine von Predazzo, Christiania, 1896) gar keine sehr große sein. In der Umgebung des ebengenannten Ortes soll sich schon in ca. 600 m Tiefe Granit gebildet haben. Nach Doelter ist bei der Entstehung der Tiefengesteine die Hauptsache nicht etwa der Druck, sondern der Umstand, daß Wasser und Mineralisatoren dabei mitwirken können, wodurch die Geschwindigkeit der Kristallisation gefördert wird.

eigentlich nicht mehr hierher, und noch detailliertere Auseinandersetzungen auf diesem interessanten Gebiete fielen aus dem Rahmen unserer Darstellungen hinaus. Daß auch im Magma, das die Vulkane der Gegenwart zutage bringen, höchst eigentümlich und in vielen Dingen noch unklare Kristallisationsvorgänge stattfinden, schon bevor der Glutbrei den Vulkanschlot verlassen hat, das zeigen die vielen, wohlausgebildeten Kristalle, welche die Laven in schon fertigem Zustande bei ihrem Ergusse enthalten, so beispielsweise die gewaltigen Mengen von schönen großen und kleinen Leucitkristallen, welche in die Vesuvlaven gleichsam eingebacken sind.

Diese Abkühlungsvorgänge im kleinen geben uns auch die Laven selbst wieder. Sobald ein Lavaerguß aus seiner Ausbruchsstelle hervorquillt, bedeckt sich seine Oberfläche sofort mit einer schlackigen Kruste. Dies ist auch an der unteren Begrenzungsfläche der Lavamasse und ebenso an ihren Seiten der Fall, so daß ein förmlicher Schlackensack zur Ausbildung gelangt, der die glutige Masse in seinem Inneren birgt. Nun ist diese Schlackenkruste ein äußerst schlechter Wärmeleiter, und infolgedessen kann der Inhalt des Sackes noch sehr lange Zeit hindurch hohe Temperaturen aufweisen, selbst wenn seine Oberfläche gänzlich starr geworden ist und das noch mehr oder minder glutige Innere kaum ahnen läßt. Ein bekannter Vulkanforscher, Wolf, hat beobachtet, wie eine aus dem Gipfel des Cotopaxi herausfließende Lavamasse die Eis- und Schneehülle dieses Bergriesen an dieser Stelle doch nur in recht geringem Maße — kaum den zehnten Teil davon — zum Schmelzen zu bringen vermochte. Spallanzani versuchte einmal, in die Risse eines bereits elf Monate alten Lavastromes am Vesuv einen Stock einzustoßen, der sofort in Flammen aufging, Laven des Ätna waren zwei Jahre nach ihrer Entstehung noch so heiß, daß man sich denselben dort, wo Risse in der Kruste sich gebildet hatten, kaum nähern konnte, und ein Strom aus dem Jahre 1858 wies sieben Jahre später, 1865, noch eine Temperatur von 72° auf!

Es leuchtet nach dem Gesagten sofort ein, daß das Innere eines solchen Lavastromes eine ganz andere Konsistenz, ein von dem der Schlackenkruste wesentlich verschiedenes Aussehen haben muß, und das ist auch wirklich der Fall. Wenn man in die Lage kommt, Durchschnitte an Lavastömen beobachten zu können, so zeigt sich, daß unter der glasig-porösen Schlackendecke kristallinisch entwickelte, steinartige Lava zum Vorschein kommt, die wiederum nach unten hin in die schlackige Ausbildungsweise übergeht.

Von der äußerst hohen Temperatur des Magmas ist auf diesen Seiten schon mehrfach die Rede gewesen, und man hat nachweisen können, daß Lava, die schon 4 km von ihrem Ausbruchspunkte entfernt war, noch mindestens 1000° C heiß gewesen sein muß. Neuere, von Bartoli an den Ätnalaven angestellte Versuche haben ergeben, daß deren Temperatur gleich bei ihrem Hervorquellen durchschnittlich 1000° C betrug, und an schon zähflüssig gewordenen Laven waren als niederste Wärmemenge 670° C zu konstatieren. Silvestri hat verschiedene Metalle in glühenden Ätnalaven zum Schmelzen gebracht, so Silber, dessen Schmelzpunkt bei 1000° C liegt, und Kupfer, das bei 1100° C schmilzt. Noch eine ganze Stunde nach ihrer Ausschleuderung war eine Bombe des Stromboli so heiß, daß Mercalli einen Messingdraht, dessen Schmelzpunkt 800° C beträgt, darin schmelzen konnte. Daß die Hitze der Lavamassen im Vulkanschlot sehr wahrscheinlich noch um mehrere 100° C größer sein dürfte, das ist bereits früher betont worden.

Die allerwärts aus einem Lavastrom hervorbrechenden Gase und Dämpfe sind sehr oft imstande, die Schlackenkruste wieder aufzureißen und neues glutflüssiges Material aus dem Inneren herauszuspritzen, das sich dann zu allerhand grotten-, schornstein-, kegelförmigen und anderen Gebilden zusammenfügt, aus welchen meist eine Fumarole hervorschießt. Diese Schlackenschornsteine sind eine weitverbreitete Erscheinung. (Fig. 57 und 58.) Die Lavamassen, welche bei der Entstehung des Xorullo in Mexiko

(1759) herausgestoßen wurden, sind von diesen, dort Hornitos genannten Dingen, förmlich übersät, und im Vulkengebiet des Diret-et-Tulul in Nordsyrien ist Ähnliches zu sehen, wie Stübel und andere berichtet haben.

Die Oberfläche der Schlackenkruste eines Lavastromes kann höchst verschiedenartig ausgestaltet sein. Bald gleicht dieselbe einer Unmasse nebeneinander gelegter oder übereinander gehäufter Fladen, oder strick- und seilartiger Gebilde, so besonders bei

Fig. 57. Schlackenschornstein auf der Lava im Kilauea.

sehr leichtflüssigen Laven (Fig. 59, 60 und 61), bald zeigt sie gekröseähnliches Aussehen, und schließlich, wenn der Strom einen steilen Abhang hinabläuft, und dabei die Schlackenüberzüge auseinander reißen und in einzelne Blöcke zerfallen, die in noch plastischem oder auch schon in erhärtetem Zustande übereinander kollern, werden blockartige Lavamassen zustande kommen. So redet man denn auch von Fladen-, Strick-, Seil-, Gekröse-, Block- und Schollenlaven. Bei fladen- und gekröseartigen Laven können infolge der Kontraktionserscheinungen beim Erkaltungs-

Fig. 58. Schlackenschornstein auf der Lava von 1893, Vesuv.

prozesse auch größere und kleinere Spalten entstehen, so z. B. an den uns bereits bekannten Kontraktionsgjaus (Fig. 62 bis 64).

Einige Worte über die Geschwindigkeit, mit der ein Lavastrom sich fortbewegt, mögen hier ebenfalls am Platze sein. Diese wird in erster Linie abhängen von der Größe der nachschiebenden Lavamassen, von dem Flüssigkeitsgrade des Magmas und von der Neigung des Geländes, über welches sich der Strom fortbewegt. Am Mauna-Loa auf Hawaii hat man Laven die Strecke von 3,5 m in der Sekunde durchmessen sehen, was

Fig. 59. Fladenlava im Kilauea, Hawaii, 1887.

etwa der doppelten Geschwindigkeit des Wassers großer Stromläufe in der Nähe ihrer Einmündung in den Ozean gleichkommen würde. Am Vesuv konnte man 2,4 m im selben Zeitraum feststellen, dann aber wieder nur 0,5 oder 0,6 m 8 m in der Sekunde soll das Maximum sein, das jemals beobachtet werden konnte. Die Lavaergüsse, welche der Ätna im Frühjahr 1910, während wir diese Zeilen niederschrieben, ausgeschleudert hat, sollen den aus Tageblättern entnommenen Nachrichten zufolge, je nach der Stärke der Eruption und nach der Gestaltung des Gehänges 15, 20, auch 30 m in der Stunde

Fig. 60. Aus dem Kilauea auf Hawaii ausgespieene gluthflüssige Lava, in einen Teich stürzend und denselben ausfüllend, 1881.

durchmessen haben. Zu Anfang des Ausbruchs soll der Hauptstrom, der bei 500 m Breite und 15 m Höhe erreichte, damals auch bereits 11 km lang war, $^1/_2$ m in der Sekunde vorgerückt sein und an 7 km in 16 Stunden zurückgelegt haben.

So gewaltige Lavaströme, solche Massenergüsse, wie wir sie weiter oben aus Island kennen gelernt haben, sind große Ausnahmen. Diese besitzen einen Rauminhalt von 27—30 cbkm, während die größten Lavaflüsse der Gegenwart $^1/_3$ bis $^1/_2$ cbkm Masse aufweisen, so diejenigen des Mauna Loa auf Hawaii. Genannter Vulkan hat im Jahre 1855 einen Lavastrom ausgesandt, der schon wenige Monate nach dem Beginn der Eruption 50 km weit geflossen war, bei einer durchschnittlichen Breite von 200 m und einer mittleren Mächtigkeit von 50—100 m. 16 km vom Austrittspunkt entfernt sah man den Glutbrei unter seiner Schlackendecke noch brodeln und zischen. Eine der allergrößten Lavamassen, die der Vesuv jemals ausgespieen hat, ist diejenige gewesen, die im Jahre 1794 Torre del Greco zerstörte. Sie erreichte eine Länge von 5,7 km, war 650 m breit und etwa 13 m im Durchschnitt hoch. Ihr Volumen dürfte ungefähr 15 600 000 cbm betragen haben.

Das zähflüssigere Magma kann zur Bildung einer Abart von Vulkanen führen, die den Namen homogene erhalten haben. Es tritt als Ganzes aus dem Schlot heraus, und durch die stets nachschiebenden Massen wird es zu einer Kuppe aufgestaut, die einen mehr oder weniger zwiebelartigen Aufbau zeigt. „Die tieferen und inneren Teile solcher Eruptivmassen sind die jüngsten Glieder, die älteren werden am Gipfel der Kuppe oft mangeln und an der Basis, wie auch an den Flanken zu suchen sein; die jüngsten Nachschübe aber stecken im Kern der Kuppe“ (Reyer) (Fig. 65). Solche Quellkuppen sind im Grunde auch die schon früher von uns angezogenen Vorkommnisse des Georgios und des Vesuv, die, wenn sie sich innerhalb einer festen Gesteinsschicht gebildet hätten, zu Laccolithen geworden wären. Stübel hat dergleichen Phänomene

Fig. 61. Ehemaliger Teich an den Gehängen des Kilauea auf Hawaii, von Lavamassen ausgefüllt, 1881.
(Siehe Fig. 60.)

Staukegel, Bergeat Staukuppen[1]) genannt, weil dieselben durch Auf- und Einstauung entstanden sind. Wir werden nachher noch darauf zurückkommen. Eine Kraterbildung bei den Quellkuppen dürfte wohl nicht stattgefunden haben, immerhin hat der Georgios in kürzeren oder längeren Zwischenräumen Explosionen gezeigt, während das aber bei der Neubildung am Vesuv nicht der Fall gewesen ist.

Fig. 62. Lavastrom (Blocklava) im Vorrücken. Monti bassi am Ätna. 1. Juli 1886.

Die Bildungsweise der Lavakuppen hat Hugo Laspeyres in seiner vor kurzem erschienenen schönen Monographie des Siebengebirges wie folgt erläutert:

Diese Kuppen, aus basaltischer, trachytischer und andesitischer Lava bestehend, bilden über dem durchbrochenen Gesteine kegel-, glocken- oder domförmige Massen, sehr

[1]) Staukuppen. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie usf. Festband 1907. Der vorerwähnte zwiebelartige Aufbau der Staukuppen ist übrigens durchaus nicht immer vorhanden. Die gewaltige andesitische Aufstauung der Nevada de Toluca in Mexiko ist durchaus massig, während die liparitischen Staukegel auf Lipari großen Haufen von Blöcken gleichen, die zusammen mit kleineren Trümmern in halbflüssigem, zähen Zustand ineinandergepreßt, gewissermaßen miteinander verschweißt worden sind. (Bergeat.)

Fig. 63. Blocklava über Bosco Trecase. Vesuvausbruch vom April 1906.

verschieden an Umfang nnd Höhe. „Sie finden aber noch ihre Fortsetzung innerhalb des durchbrochenen Gesteins, und zwar immer so, daß die Grenze beider unter die Kuppe einfällt und zwar meist steil (50 – 80°).“ Aus den Aufschlüssen in und an

Fig. 64. Spalten in der Lava. Kilauea, Hawaii.

den Kuppen kann man zweifellos erkennen, daß die Lavamasse mit kegelförmiger Verschwächung in die Erdrinde niedersetzt, mithin dort einen Trichter ausfüllt (Fig. 66). „Man wird sofort an die Ausfüllung eines Kraters durch die Lavamasse denken, aber auch zugleich die Frage aufwerfen, wie hat sich oberhalb des Kraterrandes diese Lavamasse noch kegelförmig als Kuppe aufstauen können! Wie aus (Fig. 66) ersichtlich, ruht die Lavamasse seitlich auf Kissen eines von Laspeyres als Basaltgrenztuff bezeichneten Gesteines, das aus losen Auswurfsmassen, die mit der Zeit eine tuffartige Konsistenz erlangten, besteht, und dessen äolische Bildung

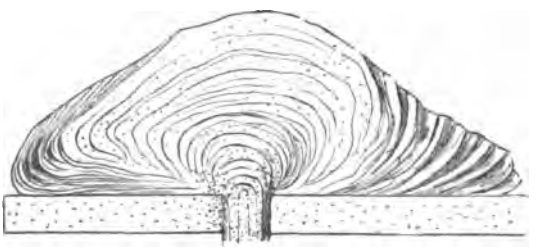


Fig. 65. Durchschnitt durch eine Quellkuppe. Nach Reyer.

nicht angefochten werden kann. „Zuerst bildete sich um die Ausbruchsstelle über den Trachyttuffen ein mehr oder minder deutlich geschichteter Vulkankegel mit eingesenktem Krater" (Fig. 67). In der Abbildung ist der Kraterboden wie auch dessen Trichter durch die zuletzt ausgeworfenen und in den Krater zurückgefallenen Schlacken bedeckt, resp. erfüllt. „Die tiefsten dieser vulkanischen Schichten werden vorwaltend aus den ausgeblasenen Trümmern der Trachyttuffe bestehen, untermischt mit vereinzelten Schlacken, Bomben, Lapilli, usf. des basaltischen Ausbruches, sowie mit Brocken von den durchsetzten Tertiär- und Devonschichten. Nach oben hin werden sie aber immer mehr und mehr Basaltmaterial neben dem trachytischen führen und schließlich vorwaltend bis fast ganz aus basaltischen Trümmern bestehen.

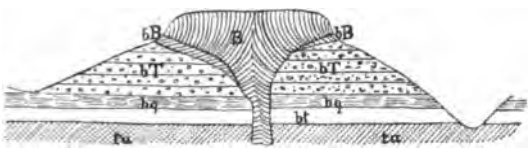


Fig. 66. Zur Erklärung der Bildungsweise der Lavakuppen im Siebengebirge. Nach H. Laspeyres.

Zum Schlusse der Eruption wird der Krater und Kraterschlund von der ruhiger aufsteigenden Basaltlava mehr oder weniger hoch erfüllt worden sein. Diese erstarrte im Krater, bevor ein Lavastrom sich durch den Kraterwall Bahn brechen oder über den Kraterrand sich ergießen konnte (Fig. 68).

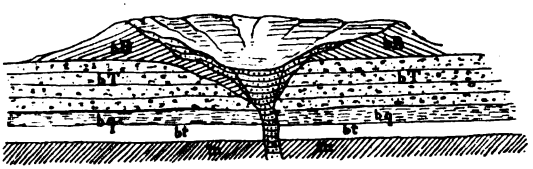


Fig. 67. Zur Erklärung der Bildungsweise der Lavakuppen im Siebengebirge. Nach H. Laspeyres.

Damit war der vulkanische Ausbruch an dieser Stelle beendet" [1]).

Zur Zeit, als diese Lavakuppen sich bildeten, standen in jenen Gegenden die Gewässer 180 m höher über dem Meeres-

[1]) Das Siebengebirge am Rhein. In: Verhandlungen des Naturhistor. Vereins der preuß. Rheinlande, Westfalens, usf., 57. Jahrg., 1900. Bonn, 1901.

spiegel der Gegenwart, und über den Fluten erhob sich das Hügelland der Trachyttuffe, der Unterlage der Kuppen bis zu 420 m etwa, und aus diesem ragten dann die mit Lava erfüllten Vulkankegel etwas über ihre heutige Höhe, also ungefähr 460 m empor. Die Erosion fing ihr Zerstörungswerk an diesen Vulkanen an, und zwar nicht etwa, wie bisher angenommen worden ist, vermittelst großer tertiärer und nachtertiärer Wasserfluten, sondern durch die Atmosphärilien, weil seit Beginn der Tuffbildung bis in die Gegenwart das Areal Land war.

Zuerst wurden die an der Außenböschung der Vulkangebilde ausgehenden Grenztuffe von den erodierenden Kräften angenagt. So wurde nach und nach die den Krater erfüllende Lavamasse immer mehr ausgewaschen, daß sie an den Rändern zu Bruche ging und an dem Abhange der sich so bildenden kegel-, glocken-, domförmigen Erosionskegel die Blockhalden lieferte. Die die Lava früher bedeckenden Stromschlacken sind nur an einer Stelle erhalten geblieben, bei allen übrigen Kuppen aber fortgewaschen worden. Die trachytischen und andesitischen Kuppen zeigen pfeilerförmige, die basaltischen säulenförmige Absonderung, „die winkelrecht zur Grenzfläche steht, mithin hier meilerartig, allerdings bald mehr, bald weniger regelmäßig, oft von ungewöhnlicher Vollkommenheit radial von der Vertikalachse des Kratertrichters ausstrahlend. Nahe der Grenze sind die Säulen in der Regel plumper, als in weiterer Entfernung“ (Fig. 69).

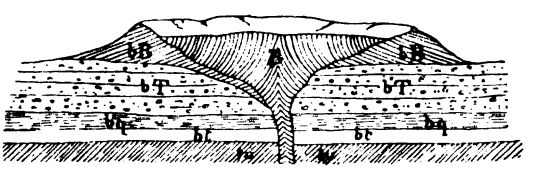


Fig. 68. Zur Erklärung der Bildungsweise der Lavakuppen im Siebengebirge. Nach H. Laspeyres.

B. Basalt. bB. Basalttuff. bT. Trachyttuff. bq. quarzige Schichten. bt. tonige Schichten. tu. Devon.

Daß manche heute in Kuppenform sich darstellende Basaltberge durch Erosionsarbeit aus größeren Decken herausgesägt worden sind, das ist selbstverständlich. Nebenstehende Figuren 70 und 71 sollen zwei typische Staukuppen, oder, wenn man

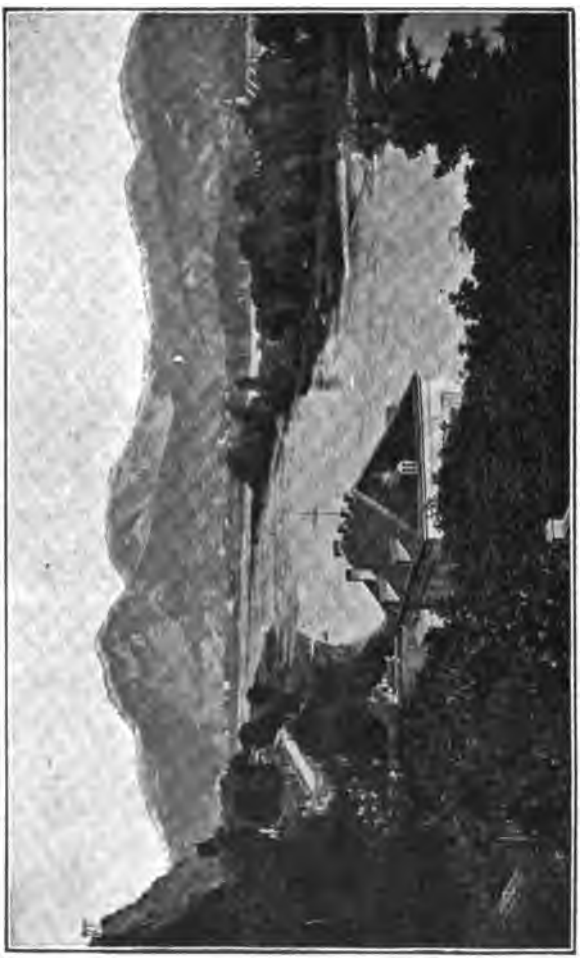


Fig. 69. Das Siebengebirge bei Königswinter a. Rhein.

lieber will, homogene Vulkane zur Veranschaulichung bringen. Fig. 70 stellt den Hohentwiel im Hegau dar, einen nicht nur in der Kriegsgeschichte Schwabens vielgenannten, sondern auch in der deutschen Literatur durch Scheffels Ekkehard weithin berühmt gewordenen abgestumpften Kegel aus phonolithischem Gestein, Fig. 71 den Borschen bei Bilin in Deutschböhmen, ebenfalls ein Gebilde aus Phonolith, das durch seine einem ruhenden Löwen ähnliche Gestaltung zu den bezeichnendsten Bergen des deutschen Böhmerlandes gehört.

Eine ganz eigentümliche Art von Staukuppen hat uns der schreckliche Ausbruch der Montagne Pelée auf der Insel Martinique im Mai 1902 und den folgenden Monaten kennen gelehrt. Im Schlote dieses nach längerer Ruhezeit wieder zum Leben erwachten Vulkans war nämlich eine sehr zähflüssige Masse andesitischen Glutbreies im Aufsteigen begriffen, die langsam aus dem alten Krater des Etang sec herausgepreßt wurde, etwa wie Pasta aus einer Tube, und zur Zeit ihrer größten Entwicklung den Kraterrand um 850 m überragte. Es war eine schwamm- und teigförmige Masse, die allerhand Gase und Dämpfe entströmen ließ (Fig. 72—75). Diese breit nadelförmige Bildung stürzte mehrfach in sich zusammen, um immer und immer wieder zu neuer Entfaltung zu gelangen. Nach einiger Zeit, als die Ausbruchstätigkeit des Vulkans wieder erlahmte, ist die Felsnadel, wie man sie auch genannt hat, wieder fast gänzlich zusammengebrochen[1]).

Eine Anzahl von Laven, so besonders die basaltischen, auch die obsidianischen, besitzen die Eigentümlichkeit, bei ihrer Erstarrung säulenartige Gebilde zu liefern, die aber verschieden dick und lang (bis 20 m Länge, und noch mehr), einen polygonen, vier-, fünf- oder auch sechseckigen Querschnitt aufweisen. Sie sind wie Orgelpfeifen aneinander gedrängt, Die Abbildungen 76 und 77

---

[1]) A. Lacroix, La Montagne Pelée et ses éruptions. Paris, 1904. Derselbe, La Montagne Pelée après ses éruptions. Paris, 1908.

A. Heilprin, Mont Pelé and the tragedy of Martinique. 2. edit., Philadelphia-London, 1903.

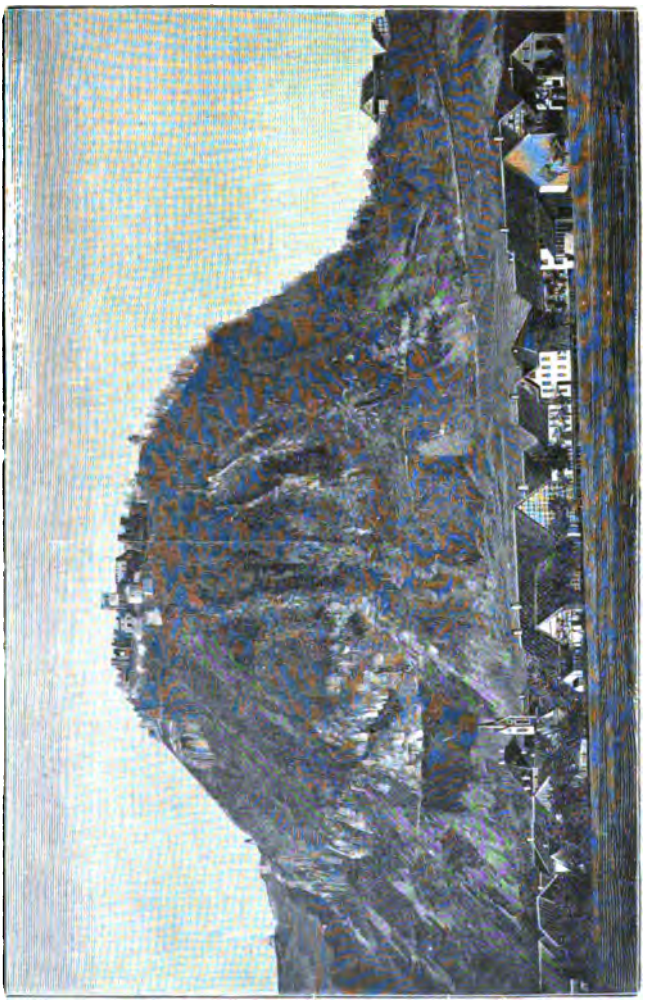


Fig. 70. Der Hohentwiel im Hegau.

geben diese Erscheinung wieder, welche hie und da auf weite Strecken hin verfolgt werden kann. So beispielsweise an der Nordostseite von Irland, nördlich von Belfast, wo sich eine gewaltige Basaltmasse bis ans Meer erstreckt und hier in einem dammartigen Riesengebilde endigt, das aus einer dichten Reihe von etwa 40000 Basaltsäulen besteht, die bis 13 m Höhe erreichen. Es ist der Giant-Causeway, der Riesendamm, so genannt, weil man in früheren Zeiten geglaubt hat, das Ganze sei ein von Riesen aufgeführtes Bauwerk. J. Walther[1]) hat die Ansicht verfochten, diese säulenförmige Absonderung sei eine auf die plötzliche Abkühlung der heißen Lava durch Wasser zurückzuführende Erscheinung, und in der Tat weist die Mehrzahl der bis ans Meeresufer gelangten Lavaströme der Vulkane Italiens derartige Säulenbildungen auf, während an denjenigen, welche das Meer nicht erreichten, keine Spur dieses Phänomen zu sehen ist! Man kann also wohl mit dem Genannten sagen, daß Lavasäulen am Ende eines Lavastromes, die senkrecht auf der Flußrichtung stehen, ein Wahrscheinlichkeitsbeweis dafür sind, daß das Stromende an einem Wasserspiegel erstarrte. Es wären also solche Säulen vulkanische Strandmarken!

Auch kugelige und kugelig-schalige Absonderungsformen sind bei den Laven bekannt, ebenso plattige, die letzteren vielfach bei den phonolithischen Laven, deren Platten beim Anschlagen derselben mit einem metallenen Gegenstand einen hellen, klingenden Ton von sich geben. Daher der Name dieser Gesteine (Phonolith-Klingstein)!

Es hat sich durch die petrographische Untersuchung der Eruptivgesteine die Tatsache herausgestellt, daß im allgemeinen die Laven eines und desselben vulkanischen Areals eine gewisse Ähnlichkeit in ihrer chemischen Zusammensetzung zeigen, eine Art von Familiencharakter, welchen J. P. Iddings, ein hervor-

---

[1]) Vulkanische Strandmarken. In: Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt in Wien, Wien, 1886.

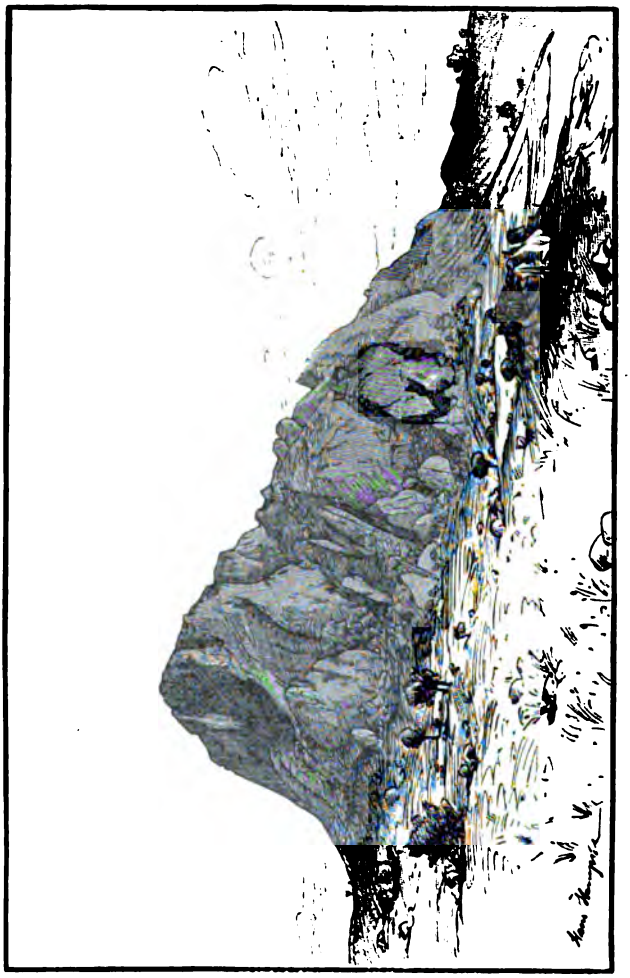


Fig. 71. Der Borschen bei Bilin in Deutschböhmen.

ragender amerikanischer Geologe, Consanguinity [1]) (Blutsverwandtschaft) genannt hat. Darunter versteht er die Abstammung aller Eruptivmassen des in Frage kommenden Bezirks aus einem gemeinsamen Magmaherde. Ein deutscher Ausdruck hierfür ist auch der der gauverwandten Laven. Erstreckt sich diese Consanguinität auf größere vulkanische Gebiete, so kann man auch von petrographischen Provinzen reden. So sind trotz ihres sehr verschiedenen Charakters die Laven des Vesuv, die zu den Basaltgesteinen gehören, gauverwandt mit den

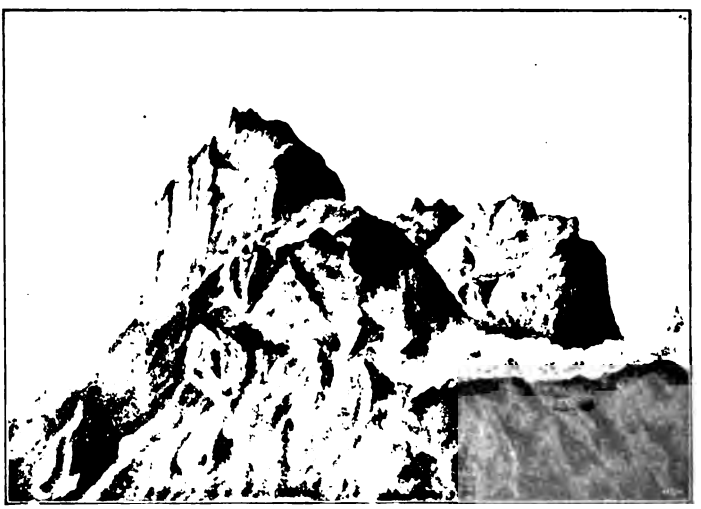


Fig. 72. Die Felsnadel im Krater des Mont Pelé auf Martinique, am 8. November 1902. Nach Lacroix.

trachytischen Felsarten, welche die Vulkane der Phlegräischen Felder gefördert haben, und diese Consanguinität drückt sich im hohen Kali- und Natrongehalt beider Vorkommnisse aus.

Dann hat sich ergeben, daß in ein und demselben vulkanischen Bezirk die zeitliche Reihenfolge des geförderten Glutflusses resp. der lose ausgeworfenen Massen mit Veränderungen in deren chemischen Zusammensetzung im Konnexe steht. So konnte Brögger in der petrographischen Provinz von Christiania

[1]) Bulletin Phil. Society, Washington, 12, 1894.

Fig. 73. Die Felsnadel des Mont Pelé auf Martinique am 8. März 1903 vom Norden gesehen. Nach Lacroix.

nachweisen, daß dort das eruptive Material erst zu den basischen Laven gehörte, denen dann in späterer Zeit saurere nachfolgten, um wiederum, noch später, basischen Ergüssen das Feld zu räumen. Ähnliches weiß man aus dem großen Eruptionsgebiete von Predazzo in Südtyrol. Aber „die nicht sehr zahlreichen exakten Beobachtungen über den Gang der petrographischen Veränderungen in Vulkangebieten lassen mit Sicherheit so viel erkennen, daß derselbe nicht immer gleichgerichtet ist und daß eine kontinuierliche Zu- oder Abnahme des Kieselsäuregehaltes der Produkte mindestens nicht statthat“ [1]). Gibt es doch vulkanische Areale, deren Eruptionsfolge erst saurere Glieder zeigt, um dann in basische überzugehen, und auf den Äolischen Inseln wirft der Stromboli basische, basaltische Laven aus, während aus dem Vulkanschlot von Vulcano saure, rhyolitische bzw. dacitische Produkte gefördert werden. „Dabei konnten unmittelbar nebeneinander basaltische und dacitische oder liparitische Laven ergossen werden; so hatte der Hauptkegel von Vulcano um dieselbe Zeit saure, dacitische Eruptionen, während sich 2,5 km davon entfernt der kleine Krater von Vulcanello aus Basalten aufbaute“.

Zur Erklärung des Baues der Vulkanberge, in der er wesentlich von den Anschauungen, die wir bisher über diesen Gegenstand vorgetragen haben, differiert, hat nun Alphons Stübel [2]) seine uns schon bekannte Lehre vom Magma als dem alleinigen Träger vulkanischer Kraftäußerung weiter ausgestaltet. Wir wollen diese Ansichten des Dresdener Gelehrten im folgenden kennen lernen:

Alle Vulkanberge auf der heutigen Oberfläche, sowohl die erloschenen, als auch diejenigen, deren Aufbau noch nicht völlig abgeschlossen ist, stehen mit geringen Ausnahmen auf einer Basis sedimentärer Gesteine von junggeologischem Alter, und auch für diejenigen, die sich auf älteren oder gar auf altkristallinischen

[1]) A. Bergeat, Betrachtungen über die stoffliche Inhomogenität des Magmas im Erdinneren.

[2]) In seinen bereits weiter oben zitierten Schriften.

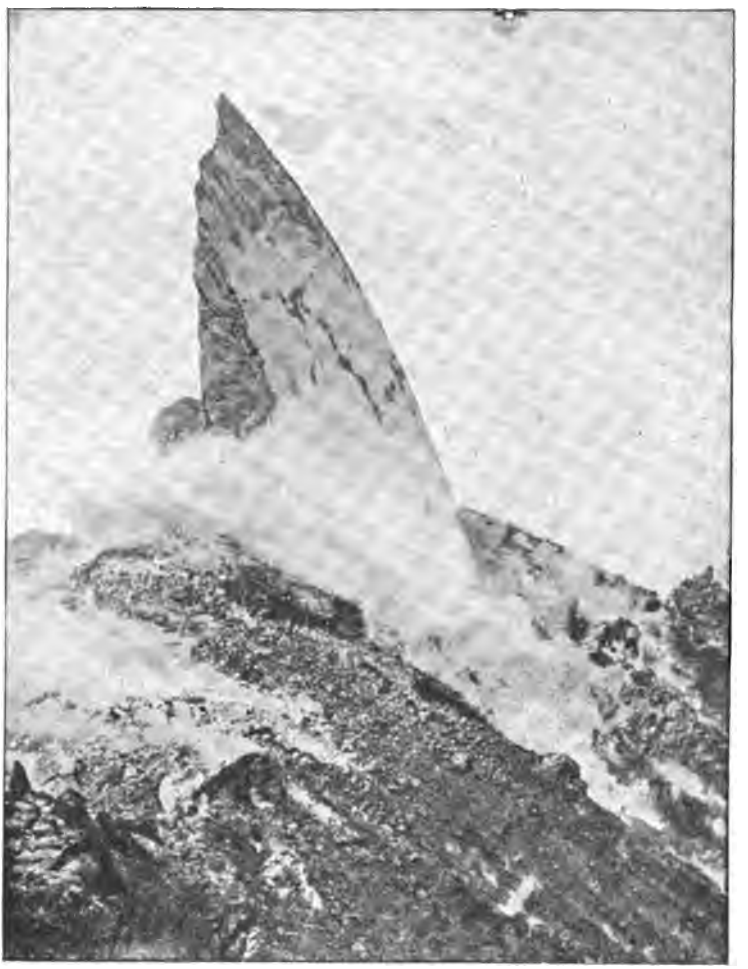


Fig. 74. Die Felsnadel des Mont Pelé am 8. März 1903, von Süden gesehen.
Nach Lacroix.

Felsarten erheben, läßt sich der Nachweis dafür erbringen, daß ihre Entstehung ebenfalls eine jugendliche ist. Die Ablagerung dieser Sedimente, welche den Vulkanen zur Unterlage dienen, konnte vor sich gehen, ohne daß die unterirdischen Kräfte dabei störend eingegriffen hätten. Das setzt voraus, daß diese letzteren an allen Stellen, wo sie sich auf diesem geologisch jungen Boden entfaltet haben, einen plötzlichen und notwendigerweise mit großen Gewaltäußerungen verbundenen Anfang nahmen.

Nun steht die Menge des bei jedem Ausbruch zutage geförderten Magmas sicherlich in einem ganz bestimmten Verhältnis zur Größe des Widerstandes, den die vulkanische Kraft bei ihrem ersten Durchbruch zu bewältigen hat, und darum ist auch der Schluß gestattet, daß, wenn bei einem solchen ein mächtiges System von Gesteinsbänken durchstoßen werden muß, auch ein ganz beträchtliches Quantum des Glutbreies herausbefördert wird, eines, das groß genug ist, um Berge von großer Höhe und bedeutendem Umfang aufzubauen. In den meisten Fällen dürfte diese Magmamenge sogar einen beträchtlichen Teil der Masse bilden, die ein vulkanischer Herd engerer Begrenzung, überhaupt auszustoßen vermag.

Es muß also vulkanische Berge geben, die durch einen einzigen, aber sehr gewaltigen Ausbruch gebildet werden.

Dieselben sind das Erzeugnis des ersten Erwachens eines peripherischen Herdes, das stets mit Gewaltäußerungen verbunden zu sein scheint, hinter denen alle späteren Betätigungen desselben Herdes weit zurückbleiben, und daher kommt es, daß der Berg, den der Herd in der ganzen Zeit seines Fortbestehens überhaupt hervorzubringen vermag, schon bei diesem erstmaligen Erwachen in seinem Bau fast vollendet wird.

Ein auf solche Weise, durch einen einzigen, aber sehr gewaltigen Ausbruch entstandener Berg ist ein monogener Vulkan (Fig. 78).

Fig. 75. Ansicht der Felsnadel des Mont Pelé mit dem Vulkan am Ende des Jahres 1902.
Nach Lacroix.

Die Mehrzahl aller peripherischen Herde ist durch diesen einmaligen Ausbruch, diese gewaltige Kraftentfaltung erschöpft worden, und daher die große Menge der erloschenen Vulkanberge. Diesen steht jedoch eine weitere, wenn auch kleinere Zahl von solchen Herden gegenüber, bei welchen ein mehrmaliges Erwachen der Tätigkeit angenommen werden muß, wie aus ihren Bauen, aus den polygenen Vulkanbergen hervorgeht. Diese Zeitpunkte erneuter vulkanischer Kraftäußerung sind stets durch längere oder kürzere Ruhepausen voneinander getrennt.

Jeder vulkanische Berg, so wie er heute vor uns steht, muß daher mindestens einen monogenen Kern besitzen, und wenn dieser durch spätere Eruptionen von einem polygenen Gesteinsmantel verdeckt worden ist, so kann diesem jüngeren Zuwachs dem monogenen Kern gegenüber doch nur eine mit Hinsicht auf die Entstehungsweise untergeordnete Bedeutung beigemessen werden.

Man darf nicht von der irrigen Voraussetzung ausgehen, daß die Anzahl der verschiedenen Gesteinsarten, welche ein Vulkan gebildet hat, ein richtiger Maßstab für die Zahl der Ausbrüche ist, welche der betreffende Feuerschlund zeitigte. Im Gegenteil! Es ist sogar wahrscheinlich, daß das Magma innerhalb eines, vielleicht auch noch vielfach verzweigten Herdes nicht überall die gleichen Mischungsverhältnisse zeigt. Ist dies doch auch bei künstlichen Schmelzmassen glasiger Schlackenflüsse, die nicht hinlänglich durchgerührt sind, der Fall! Eine chemische und mineralische Verschiedenheit einzelner Partien des Magmas bei großen Ausbrüchen, durch welche vielleicht die Hälfte des Herdinhaltes mit einem Male geleert wird, ist viel möglicher, als ein solches Verhalten des Glutbreies bei einer der kleinen Gesteinsergießungen der Gegenwart, die Jahrtausende hindurch nur noch aus einer bestimmten Zone eines absterbenden Herdes stammen.

Aus dem Charakter der Erzeugnisse eines Vulkans auf seine Entstehungsweise schließen zu wollen, wie man bisher getan hat,

Fig. 76. Der Basaltfels Werkotsch bei Außig in Böhmen mit seinem säulenförmig abgesonderten Gestein.

das ist ein Fehlgriff. Nicht der petrographische Habitus, sondern allein nur die Topographie der Feuerberge kann uns hier den richtigen Aufschluß geben.

Zu den monogenen Vulkanbergen gehört der Caldera-Berg im Sinne Stübels. Wie man sich die Caldera nach den sonstigen Anschauungen gebildet denkt, das wurde schon weiter oben dargelegt. Nach dem Ebengenannten ist die Sache allerdings in einer ganz besonderen Weise vor sich gegangen. Rein topographisch gesprochen ist nach Stübel der Caldera-Berg lediglich ein zumeist großer, mehr oder minder kegelförmiger Kraterberg, aber mit einem so sehr bedeutenden Durchmesser seiner Kratereinsenkung im Vergleich zur Höhe und zum Umfange des Berges, daß die allmähliche Aufschüttung dieses letzteren von einem so unverhältnismäßig großen Krater und einem ihm entsprechend weiten Kraterschacht aus, sowie in Anbetracht der tektonischen Verhältnisse des Ringwalles, nicht erklärlich erscheint. Ein weiterer Unterschied der Caldera gegenüber den gewöhnlichen Kratereinsenkungen besteht ferner noch darin, daß ihre kranzartige Umwallung nach der Innenseite des Kessels hin sehr steil abfällt und deren Schichtenbau bloßlegt.

Eine genaue und scharfe Grenze zwischen dem Caldera-Berge und einem normalen Kraterberge ist schwer zu ziehen, zumal es Gebilde vom ersteren Typus gibt, die trotz ihrer geringen Dimensionen dennoch Caldera-Berge sind, und dann wieder solche des zweiten, die, wenngleich im Besitze eines umfangreichen Kraters, dennoch nicht zu den Caldera-Bergen gerechnet werden dürfen. Der Unterschied zwischen beiden Ausbildungsformen ist nämlich lediglich ein genetischer, kein topographischer.

Ein monogener Vulkanberg ist gebildet worden durch die einmalige Aufstauung ungeheurer Eruptivmassen, wobei aber zu bemerken ist, daß, wenn man hier von einem einmaligen Ausbruch redet, damit nicht gesagt werden soll, ein Berg von vielleicht 1000 bis 2000 m Höhe und entsprechendem Umfang

Fig. 77. Säulenförmige Absonderung an basaltischer Lava, Auvergne.

sei in der kurzen Frist von wenigen Tagen aufgetürmt worden. Vielmehr soll damit nur angedeutet werden, daß die das Baumaterial liefernden Ausbrüche so rasch aufeinander folgten, um den Berg zu vollenden, ehe die Erkaltung und die Erstarrung des glutflüssigen Magmas so weit vorgeschritten waren, die Beweglichkeit der ganzen Masse oder nur eines Teiles derselben zu hemmen. Viele Jahre, Jahrhunderte, ja vielleicht Jahrtausende hindurch kann es gedauert haben, bevor die ganze Bergmasse völlig erkaltet gewesen ist, aber dennoch muß ein solcher Bau als das Produkt einer einzigen Eruption angesehen werden. Das Übereinanderwegfließen nachdringender Schmelzmassen, oder aber auch Einstauung gewaltsam nachschiebenden Magmas in die in stetiger Bildung begriffene Erstarrungshülle, die dadurch

Fig. 78. Monogener Vulkan. Nach Stübel.

gehoben, vielfach aufgerissen und durchbrochen werden mußte, kann den Bau eines monogenen Vulkanberges bewirkt haben.

Wenn nun bei einem derartigen Vorgange, nachdem schon ein beträchtlicher Teil der glutflüssigen Masse ausgestoßen worden war, die treibende Kraft plötzlich abflaut und infolgedessen der Magma-Nachschub rasch aufhört, muß das Innere des aufgeworfenen Berges, soweit es nicht schon der Erstarrung anheimfiel, in den leergewordenen trichterförmigen Schlund, der beim Hervorbrechen der glutigen Materie zur Ausbildung kam und erweitert wurde, zurücksinken und auch bereits festgewordene Teile mit sich in die Tiefe reißen. So entstand die Caldera, die daher definiert werden muß „als ein Einsturzkrater, der unabhängig von einem etwaigen früher vorhandenen oder auch noch erhaltenen Ausflußkrater, lediglich durch das plötzliche Zurücksinken der Lava-

massen im Eruptionsschachte eines monogenen Vulkanberges vor dessen gänzlicher Erstarrung entsteht und den Schlußakt der monogenen Bildung kennzeichnet“ (Fig. 79 u. 80).

Nicht nur glutflüssiges Magma kann an der Zusammensetzung eines monogenen Vulkanberges teilnehmen, auch lose Auswurfsmassen kommen dabei in Betracht, da der feurige Brei ungeheure Mengen glutzäher Schlacken und angeschmolzenen Schuttes vor sich herschieben muß, um freie Bahn zu gewinnen. „Diese mit Magma durchschichteten und durchkneteten, mit verdrückten, geknickten, abgerissenen und ausgekeilten Gängen durchzogenen Schlackenagglomerate, wie sie z. B. der innere Zirkus des Somma aufgeschlossen zeigt, bilden daher sehr häufig das Hauptmaterial im Bau eines monogenen Caldera-Berges.“.

Fig. 79. Monogener Vulkanberg vor der Calderabildung. Nach Stübel.

Fig. 80. Monogener Vulkanberg nach der Calderabildung. Nach Stübel.

Die eigentümlichen Bankungserscheinungen der Lavamassen bei manchen von Stübel als monogene angesprochenen Vulkanbergen erklärt dieser dadurch, daß das glutflüssige Magma stoßweise sich ergossen hat, und zwar in ungeheuren Fluten, die sich nicht strom-, sondern deckenartig meilenweit ausbreiteten, so daß die oberen Lagen der in rascher Aufeinanderfolge herausquellenden Flutwellen über die unteren hinwegschossen, die selbst noch in Bewegung waren, sie also überholten. Auf solche Weise entstünden dann ebenfalls Stratovulkane, deren Bänke bei oft meilenweiter Ausbreitung und relativ geringer

Mächtigkeit gar oft eine kaum merkliche Neigung erkennen lassen. Ihr Durchschnitt würde etwas anders aussehen, als derjenige der echten Stratovulkane (Fig. 78 u. 79). Da nun beim Beginn der Eruptionsphase die meisten glutigen Massen an die Erdoberfläche heraufbefördert werden, gegen den Schluß hin diese Mengen aber natürlicherweise abnehmen, so wird dieser Vorgang in der allmählichen Verjüngung der Bergmasse nach oben hin sowohl in seiner Bankung, als auch im Material selbst, so durch Vorherrschen von Agglomeraten, bald mehr, bald weniger deutlich zum Ausdruck gebracht werden.

Solche Caldera-Berge sind nach Stübel auf Teneriffa, auf Gran Canaria, Madeira und noch anderswo zu schauen, der Antisana, Altar, der Ruminnahui gehören hierher, auch die berühmte Caldera von La Palma, und nach Verbeek sollen die Ruinengestalten vieler Vulkane Javas auf gleiche Ursachen, wie die soeben geschilderten, zurückzuführen sein.

Zu den Einsturzcalderen dürften wohl auch die Kessel von Steinheim in Schwaben und vom Ries bei Nördlingen zu rechnen sein, Gebiete, in welchen ein magmatischer „Riesenpfropfen aus Granit", wie angenommen wird, durch einen unter diesem befindlichen Laccolithen aus basischem Magma erst in die Höhe gedrückt wurde, um nachher wieder teils abzusinken, teils in Schollen zu zerbrechen. Die Wirkung dieser Vorgänge war dann die Entstehung des Riesenkessels von 24 km Durchmesser[1]). Während im Ries das Vorkommen vulkanischer Produkte festgestellt ist, wenn auch das Auftreten der eruptiven Tätigkeit stets im embryonalen Stadium blieb, so lassen sich derartige Dinge in dem nur 2,5 km Durchmesser zeigenden Kessel von Steinheim nicht nachweisen.

---

[1]) W. Branca und E. Fraas, Das vulkanische Ries bei Nördlingen, usf. In: Abhandlgn. k. preuß. Akad d. Wissenschaften, Berlin, 1901; dieselben, Beweis für die Richtigkeit unserer Erklärung des vulkanischen Rieses bei Nördlingen. In: Sitzgsber. k. preuß. Akad. d. Wissenschaften, Bd. 22, Berlin, 1901; Branca, Das vulkanische Vorries und seine Beziehungen zum vulk. Riese bei Nördlingen. In: Abhandlgn. k. preuß. Akad. d. Wissenschaften, Berlin, 1903; dann Arbeiten von Gümbel, von Knebel, Koken. usf.

Die Bildungsweise dieses letzteren soll analog derjenigen des Rieses gewesen sein, aber die einzige Spur der vulkanischen Tätigkeit, welche ihn schuf, besteht in den starken Absätzen ehemaliger Thermen, den dortigen Süßwasserkalken, usf.

Das östliche Zentralisland birgt nach Spethmann zwei, „in ihrer gegenseitigen Lage ein Unikum auf Erden darstellende Calderen", von solcher Entstehung[1]). Dort dehnt sich nördlich vom Inlandeis des Vatnajökull eine an 500 m Meereshöhe besitzende und an 5200 qkm große Ebene aus, die im wahren Sinne des Worts gestaltlos ist, da kein Wasser sie durcheilt, das ihr Relief und Skulptur verleihen könnte. „Nur eine Unsumme von Lavaströmen, die sich nicht scharf individualisieren, sondern ineinander übergehen, baut sie auf. Schwarz und kalt starrt, soweit das Auge reicht, das erkaltete Magma, bald in Fladen, bald in Zacken und Nadeln geformt, bar jeder Vegetation. Der Gesamteindruck ähnelt dem des landfreien Ozeans: dieselbe Monotonie, aber auch dasselbe erhebende Gefühl des Gigantisch-Großen." In der Mitte dieser Ebene entsteigt ihr eine Anzahl dichtbenachbarter und im Ganzen einen in sich geschlossenen Bau darstellender Berge, das Gebirgsmassiv der Dyngjufjöll, zu deutsch: Haufenberge, weiche, wellige Formen zeigend, Kuppen, Rücken und Wölbungen, von ewigem Firn und Eis bedeckt. Einzig und allein an der Ostseite dieser Gebirgsmasse mündet ein breites, geräumiges Tal, Askja Op, welche das Innere ohne Ueberwindung relativ großer Höhen umschließt. An seinem inneren Ende öffnet sich ein breiter, rundlicher Kessel, rings von 200 bis 300 m messenden Erhebungen eingefaßt, die Askja, zu deutsch: Kiste, Schachtel, Kasten. Das Material ihrer Umrandung besteht aus gelbbraunem, weichem Material oder aus harten Basaltbänken, während ihren Boden schwarze Lava bedeckt. „Den Schlüssel zum entwicklungsgeschichtlichen Verständnis dieses Kessels liefert eine lange, etwa 40 m hohe Profilwand an der Nordseite

[1]) Vulkanologische Forschungen im östlichen Zentralisland. u. a. a. O.

des Beckens, die einen senkrechten Durchschnitt und vorzüglichen Einblick in eine Anzahl basaltischer Decken liefert, die einzelnen Lavaströmen entsprechen, wie eingelagerte Schlackenhorizonte bekunden. Aus dem Gefälle der Decken läßt sich der Herkunftsort ermitteln. Die Rekonstruktion ergibt, daß der Austrittspunkt des Magmas in der Luft über der heutigen Askja gelegen haben muß, daß also dort, wo sich heute der Kessel einsenkt, früher einmal ein vulkanischer Berg, mutmaßlich eine Dyngja erhob. Den verschwundenen Teil findet man unter dem Boden der heutigen Askja wieder, wie Profilen am Nordufer des Knebelsees zu entnehmen ist.“ Die Askja ist, wie Spethmann durch sorgfältige Untersuchungen feststellen konnte, keine Explosions-, sondern eine Einbruchscaldera.

Wenn man, um die Annahme der Aufschichtung der Caldera-Berge von ihrer Achse aus zu ermöglichen, voraussetzt, meint Stübel, wie das bisher von seiten vieler Geologen geschah, daß alle Calderen früher einmal spitze Kegelberge gewesen seien, und daß die Entstehung ihrer weiten Kessel, auch dann, wenn dieselben mehrere Kilometer Durchmesser aufweisen, auf nachträglichen Einsturz oder auf ein späteres Ausblasen zurückgeführt werden müsse — wir haben diese allgemeiner geteilte Anschauung ja schon weiter oben vorgetragen —, so würde beispielsweise die Somma des Vesuvs einmal doppelt so hoch gewesen sein, wie in der Gegenwart. Wann aber, frägt der Genannte, hat dieser Einsturz, resp. dieses Ausblasen stattgefunden, und wo sind die Schuttmassen geblieben?

Die Antwort auf diese letzten beiden Fragen wäre eigentlich keine allzu schwierige. Stübel sagt selbst einmal bezüglich des Vesuv, daß dieser Berg uns ein ganz bestimmtes Zeitmaß für die lange Ruhepause seiner erstmaligen Erschöpfung gebe, also für den Zeitraum, der verflossen ist, seit der Bau der Somma, seiner Ansicht nach eine monogene Schöpfung, abgeschlossen war, bis zum Augenblick des Wiedererwachens der vulkanischen Kraft, die zur Herausbildung des heutigen Vesuv-

kegels, also zum polygenen Feuerberg geführt hat. Der Anfang dieser Ruhepause, bemerkt er, fällt in die Tertiärzeit, das Ende auf das Jahr 79 unserer Zeitrechnung, auf die berühmte Eruption vom 23. und 24. August, welche die Wiederauferstehung des Vulkans eingeleitet und Herkulaneum, Pompeji und Stabiä verschüttet hat. Ob dieser lange Zeitraum Jahrhunderttausende oder auch Jahrmillionen lang gewesen ist, das mag hier dahingestellt bleiben. Auf müßige Spekulationen dieser Art wollen wir uns nicht einlassen. Wenn wir aber die zerstörenden Wirkungen der Erosion durch die Atmosphärilien oder die Brandungswellen der See hier in Vergleich ziehen, die da und dort auf der Erdoberfläche stattgefunden haben, seit die Phase in der Entwickelungsgeschichte des Planeten, welche wir als Tertiärzeit bezeichnen, über das Erdenrund dahingezogen ist, so würde, meinen wir, die Annahme keine allzu gewagte sein, daß während dieser, immerhin für menschliche Begriffe ungeheuren Spanne Zeit auch ein Berg von der doppelten Höhe der jetzigen Vesuvsomma bis zur Hälfte abgetragen und in seinem Inneren gründlich zerstört worden sein könnte. Nach den schönen Ausführungen Brancas ist der Höhenzug der Schwäbischen Alb seit dem Mittelmiocän, also dem jüngeren Tertiär, in seiner Ausdehnung von Norden nach Süden um nicht weniger als 23 km durch Abtragung, die hier im wesentlichen von vorne nach hinten und nur in geringerem Maße von oben nach unten vor sich geht, zusammengeschrumpft. Und dieses Gebirge besteht aus teilweise sehr harten Gesteinen! Sollte da eine Zerstörung eines selbst 2000 m hohen Vulkanberges, bei dem doch nicht nur erstarrte Lavamassen, sondern auch viel lockeres Auswurfsmaterial in Frage kommt, nicht auch angängig sein?

Doch noch mehr!

Einer der kompetentesten Kenner des Vulkans von Neapel, Johnston-Lavis, hat nachgewiesen, daß die Entwickelungsgeschichte dieses Feuerberges verschiedene Ausbruchsphasen gehabt hat, von denen allein sechs der vorgeschichtlichen Zeit angehören

und vor der Bildung des gegenwärtigen, von der Somma umschlossenen Vulkankegels vor sich gegangen sind, demnach sich nur auf die erstere beziehen. Und alle diese Phasen haben großartige Eruptionserscheinungen gehabt, allein die sechste also die dem Wiederaufleben des Vulkans nach zweifellos mehrtausendjähriger Pause vorhergegangene solche, die hinter dem ersten beglaubigten historischen Paroxismus im August 79, unter des Titus Regierung, an Gewalt und Wirkung nicht zurückstanden. Wenn man bedenkt, daß die Auswürflinge dieser Phase heute noch an manchen Punkten in der weiteren Umgebung des Vesuv als mächtige Schichtenbildungen sich nachweisen lassen, so ist die Frage, wo denn die Schuttmassen der Ausblasung der Somma geblieben sind, eigentlich beantwortet!

Noch für andere Caldera-Berge hat Stübel die Höhe berechnet, die sie gehabt haben müßten, falls sie ursprünglich Vulkankegel gewesen und nicht auf diejenige Art und Weise entstanden sein würden, welche seiner Meinung nach die allein richtige ist. Für den Altar in Ecuador kämen dann mindestens 8000 m heraus und für den Pichupichu bei Arequipa, dessen Caldera-Durchmesser 6—8 km bei einer Wallhöhe von 2000 bis 2500 m betragen dürfte, mindestens 10000 m! Wie groß bei diesen Vulkanen die Spanne Zeit gewesen ist, die sich zwischen der Vollendung ihres Aufbaues und der Gegenwart einschiebt, die also von dem Moment an, wo die zerstörende Wirkung der Atmosphärilien kräftig an ihrem Leibe einsetzen konnte, verflossen ist, das entzieht sich unserer Kenntnis, läßt demnach Schlußfolgerungen, wie die soeben aus der Geschichte der Somma gezogenen, leider nicht zu.

Die monogenen Vulkanberge können zwar Krater besitzen, doch ist hier deren Vorhandensein durchaus keine Notwendigkeit wie bei denjenigen, die einer sukzessiven Aufschüttung ihr Dasein verdanken. Ist aber bei den ersteren ein Krater vorhanden, so umschließt derselbe entweder die ursprüngliche Schachtmündung (Caldera-Berge) oder aber er ist zumeist durch

die Erkaltungsvorgänge ausgeblasen worden, welche sich innerhalb der Bergmasse selbst vollzogen. Jedenfalls ist er unwesentlich für diese Kategorie von Vulkanen und kennzeichnet nur den Verlauf, welchen deren Bildung in ihrem letzten Stadium genommen hat.

Daß die monogenen Vulkane sehr verschiedenartige Ausbildungsformen bekommen haben, so Domberge, gegliederte Kegelberge usf., das liegt auf der Hand. In seinem großen Werke über die Feuerberge von Ecuador hat Stübel diesen Gegenstand in Wort und Bild ausführlich behandelt. Ein näheres Eingehen auf diesen, für unsere Betrachtungen nicht durchaus wichtigen Gegenstand müssen wir uns leider versagen.

Beispiele für die Entstehung solcher Gebilde durch Aufstauung finden sich auch in der Gegenwart noch, und zwar gilt für Stübel die bergartige Auftreibung der Lavamasse im Atrio des Vesuvs, von der schon im zweiten Abschnitt unserer Betrachtungen die Rede war, als solche. In vielen Fällen jedoch werden sich sowohl Aufstauung als auch Aufschichtung miteinander vereinigen, um einen vulkanischen Berg zu erzeugen, dessen Rauminhalt nach Kubikkilometern zu bemessen ist, und zwar derartig, daß der Ausbruchsvorgang mit der ersteren beginnt und mit der letzteren durch Auswurf und Ergießung endigt. So ist das 1866 in Santorin der Fall gewesen, und so wird es wohl noch häufig vorkommen. Darum bestehen auch vielfach die höchsten Teile der Vulkanberge aus Agglomeraten. In anderen Fällen wiederum wird sich nur die eine oder die andere Art magmatischer Ergießung an der Erdoberfläche betätigen.

Peripherische Herde, die durch einmalige Tätigkeit nicht völlig erschöpft sind, brauchen gewaltige Zeiträume, um wieder neue Kräfte für eine zweite Tätigkeitsperiode aufzuspeichern, die Pause erstmaliger Erschöpfung. Dann kann es der Fall sein, daß durch Schachtverstopfung am Schlusse der ersten Ausbruchsperiode, etwa herbeigeführt durch die halberstarrten Reste des Caldera-Einbruchs, ein Eruptionshindernis von großem Wider-

stand geschaffen wird, dessen Überwindung beim Eintritt der zweiten Tätigkeitsphase eine annähernd so beträchtliche Kraftentfaltung erfordert, wie die es war, welche die erste Bahnung des Schachtes nach der Oberfläche notwendig machte.

Ursprünglich also sind alle Vulkane ausnahmslos nur monogene Baue gewesen, und die wiedererwachte Tätigkeit hat denjenigen unter ihnen, die dadurch zu polygenen geworden sind, in den meisten Fällen verhältnismäßig nur recht wenig hinzugefügt. Der monogene Kern, den die polygenen Feuerberge besitzen, ist seinem Volumen nach weit größer, als das gesamte Material, das im Laufe der Jahrhunderte ihm sukzessive hinzugefügt wurde. Wie sich nach dieser Auffassung Stübels ein Profil durch den Vesuv darstellen würde, das zeigt die Figur 81. Wir haben bereits im Vorstehenden eine Anzahl solcher mächtiger Vulkanberge monogener Entstehung als Beispiele aufgeführt und bemerken weiter dazu, daß nach der hier erläuterten Lehre neben dem Vesuv auch der Ätna und der Stromboli, die drei Hauptvertreter der vulkanischen Tätigkeit in Europa, Baue sein sollen, deren Bergmasse dem allergrößten Teile nach monogener Bildung ist.

Fig. 81. Profil durch den Vesuv nach der Auffassung von Stübel. Der eigentliche Vesuvkegel besteht aus den Auswurfsmassen der zweiten Eruptionsperiode.

Die peripherischen Herde, welche polygene Vulkanbaue erzeugt haben, lassen sich in zwei Abteilungen gliedern, und zwar in solche, die eine zwei-, drei oder selbst viermalige Tätigkeit gehabt haben, bevor sie auf immer erloschen, also erschöpft wurden. Jede dieser Phasen ist durch Pausen unendlich langer Ruhe von der nächsten getrennt gewesen, die stets aber immer sehr viel kleinere gewesen sind, als diejenige, die zwischen der ersten und zweiten Tätigkeitsperiode lag, der Pause erstmaliger Erschöpfung. Letztere könnte man eigentlich als primäre Pause gegenüber den anderen, den sekundären, bezeichnen.

Jede dieser ebenerwähnten Tätigkeitsperioden nach der Pause erstmaliger Erschöpfung ist charakterisiert durch eine Neubildung, und zwar durch eine Neben- oder Übereinanderstellung vulkanischer Baue, deren keiner aber, den Ausbruch seiner Entstehung abgerechnet, nochmals aktiv geworden ist.

Die andere Abteilung umfaßt diejenigen polygenen Vulkane, die in dem Sinne der Neubildung zwar nur eine zweimalige Tätigkeit gehabt haben, diese damit aber doch nicht einzustellen brauchten, weil es dem zweiten Ausbruch vorbehalten gewesen ist, einen leicht gangbaren Kommunikationsschacht herzustellen, der schon selbst nur geringfügige Vorgänge im Herde an der Oberfläche signalisiert, um dadurch den vulkanischen Kräften die Freiheit zu sichern, von nun an in kleinen Pausen und auf Jahrtausende hin für ihr Fortwirken in der Tiefe bis zur Oberfläche Zeugnis abzulegen. Der Umstand, daß sich dieser Kommunikationsschacht gerade bei der zweiten Tätigkeitsperiode bildet, und nicht schon bei der erstmaligen, oder gar bei späteren, scheint die durchgreifende Eigentümlichkeit einer besonderen Klasse peripherischer Herde zu sein, welche fast ausnahmslos die sogenannten tätigen Vulkane (Vesuv, Ätna, Stromboli, Sangai, Cotopaxi, usf.) hervorgebracht haben und bis auf den heutigen Tag zu speisen fortfahren.

Den Beweis für die zweimalige Haupttätigkeit vieler Herde liefert die Bildung der Doppelberge, Somma-Vesuv, die mit förmlicher Aufdringlichkeit in den verschiedensten Vulkangebieten der Erde wiederkehrt, ein Typus, der, mehr oder minder ausgesprochen, auch die meisten von den wenigen noch tätigen Vulkanen der Gegenwart umfaßt. Gerade die häufige Beschränkung auf eine zweimalige Hauptaktion bei einer so allgemeinen Übereinstimmung der verschiedensten Eruptionsbezirke untereinander weist bestimmter als alles andere auf das Wirken der vulkanischen Kräfte in einzelnen Bezirken hin. Im vulkanischen Doppelberg charakterisiert sich mithin der peripherische Herd am schärfsten.

Für das Vorhandensein solcher Herde von begrenztem Umfang spricht aber auch ferner noch das tote Material, die Schlacken und die Aschen, die ja zuweilen in gewaltigen Massen beim Beginn einer Eruptionsphase ausgestoßen werden. Schlacken bilden sich bei der Erstarrung gasreichen Magmas durch Wärmeabgabe, und ein derartiger Vorgang ist auch in geschlossenen Räumen möglich, also im Herde, wenn auch weit langsamer, als in freier Luft. Die Magmamassen in den Herden erfahren aber aus der Tiefe des etwaigen Zentralherdes wahrscheinlich nicht ebenso große Zufuhr neuer Wärmemengen, als sie davon abgeben, darum müssen in diesen Räumen große Schlackenmassen erzeugt werden. Je mehr Schlackenmassen im Verhältnis zum noch flüssigen Magma im Herde sein werden, um so reicher an derartigen Auswurfsstoffen wird auch der jeweilige Ausbruch sein müssen, und je länger die Pausen zwischen den einzelnen Eruptionen andauern, um so mehr Schlackenmasse wird im Herde aufgespeichert. Ihre Ausstoßung ist nicht etwa ein Beweis großer Lebensfähigkeit des von glutiger Materie erfüllt gewesenen Behälters, sondern im Gegenteil das Zeichen von dessen Absterben.

Auf die soeben gegebenen Ausführungen Stübels ließe sich viel erwidern. Doch der Zweck dieses Buches ist ja nicht, wissenschaftliche Polemik zu treiben, sondern lediglich nur der, die wichtigsten und am meisten im Vordergrunde stehenden neueren Ansichten über den Vulkanismus vorzutragen. Immerhin können wir uns nicht versagen, hier eine Entgegnung zu machen, die vielleicht auch manchen unserer Leser eingefallen sein mag. Wenn nämlich durch die Expansionbestrebung und die allgewaltige Expansionsfähigkeit des Magmas verhindert wird, daß durch Ergießen eines Teiles der im Herde eingeschlossenen glutflüssigen Materie an die Erdoberfläche in diesem Hohlräume entstehen können — das zurückgebliebene Magma müßte sich ja sofort so lange ausdehnen, bis es den Herd bis auf den allerletzten Zwischenraum wieder ausgefüllt hätte —, dann ist die Bildung von Schlacken im Herde selbst ausgeschlossen, weil

ja eben derjenige Teil des Glutbreies, aus dem sie erstarren, sich bei der Erkaltung noch mehr ausdehnen müßte, daher mehr Platz erforderte, als der Herd für ihn übrig hat, also ausgestoßen werden würde. Aus einem derartigen peripherischen Herde, in dem mehr Wärme durch Schlackenbildung abgegeben wird, als Wärme zugeführt, könnten keine Lavaergüsse mehr erfolgen. Und wenn „die vorherrschend aus totem Material aufgeschichteten Kegel die Schlußstücke der gewaltigen Grabmonumente sind, die sich die vulkanischen Kräfte dort, wo sie ihre einstige Tätigkeit walten ließen, errichteten oder zu errichten noch fortfahren", wie Stübel das will, so ließe sich dagegen einwenden, daß bei vielen Eruptionen auf Schlackenauswürfe großartigen Maßstabes später doch noch starke Lavaströme erfolgt sind. Die Schlackenkegel in der Puys in der Auvergne, die nach ihrer Aufschüttung von einem aus ihrem Schlund hervorgebrochenen Lavastrom durchbrochen wurden, sind Beispiele dafür, und die geologische Geschichte der Somma verzeichnet ebenfalls Schlacken- und Aschenauswürfe von bedeutendem Umfang.

Große Analogien bestehen nach Stübel zwischen den Caldera-Doppelbergen der Erde und den vulkanischen Erscheinungen des Mondes, dessen Ring-Gebirge Galdera-Bildungen im großen Maßstabe darstellen und auch nur monogene Baue sind. Lediglich der Rauminhalt der Herde, die augenscheinlich auf dem Monde größer waren, bestimmt den Unterschied zwischen den selenischen und den tellurischen Gebilden, nicht aber der Eruptionsprozeß, der hier und dort ein durchaus gleichartiger gewesen ist. Die konzentrischen Ringgebirge sind durch mehrfache, rasch hintereinander erfolgte Ausbrüche im Verlauf der ersten Eruptionsperiode eines Herdes geschaffen worden.

Aber die Bildung der Vulkanberge ist nach Stübel keineswegs eine Notwendigkeit für die Betätigung der vulkanischen Kräfte, und ihre Aufschichtung entspringt jederzeit nur der Mitwirkung nebensächlicher Bedingungen. Die eigentliche und normale Ablagerungsform glutflüssigen Magmas ist

die deckenartige Ausbreitung, für die es nicht nur auf dem Monde, sondern auch auf der Erde beweiskräftige Beispiele gibt, so die großen Lava-Ebenen des Columbia-Gebietes in Nordamerika und der Dekhan-Landschaft in Vorderindien, die 5—600000 qkm Flächenausdehnung besitzen, und mehrere hundert, stellenweise sogar mehrere Tausend Meter mächtig sind. Weniger umfangreiche, plateauartige Ablagerungen haben Island, Kleinasien, Syrien, Arabien usf. aufzuweisen. „Was aber bedeuten solchen Gesteinsmassen gegenüber selbst die größten unter den Vulkanbergen des terrestrischen Festlandes?“

Die Bergform in den Ablagerungen der Eruptionsprodukte ist nach Stübel stets des Anzeichen eines absterbenden Herdes, die monogene als erstes, die polygene als weiteres Stadium dieses Hinsiechens. Und auch die gewaltigen deckenartigen Ergüsse des Magmas, von denen soeben die Rede war, sind nur noch ein schwacher Nachhall derjenigen, welche in noch früheren geologischen Zeiten aus dem Zentralherde hervorgequollen sind!

Sechster Abschnitt.

Die verschiedenen Äußerungsformen der vulkanischen Tätigkeit.

Tätige und erloschene Vulkane. Strombolianische und strombolianische-gemischte Tätigkeit. Hawaische Tätigkeit. Vulcanische Tätigkeit. Plinianische Tätigkeit. Ultravulcanische Tätigkeit. Peléische Tätigkeit. Die vulkanische Katastrophe auf den Kleinen Antillen (Martinique und St. Vincent) im Jahre 1902. Der allgemeine Verlauf eines vulkanischen Ausbruchs. Vorbotenerscheinungen. Aschen- und Lapilliregen. Der Aschen- und Lapilliregen am Vesuv im April 1906. Vulkanische Sturzlawinen. Schlammströme, Avenidas. Wasserergüsse und Flammenerscheinungen bei vulkanischen Ausbrüchen. Der Anblick eines Lavastroms beim Ausbruch des Ätnas im April 1910. Schlammvulkane (Salsen, Schlammsprudel).

Die Zahl der auf der Erde zerstreuten Vulkane ist eine ungemein große. Aber nur ein verhältnismäßig geringer Teil derselben befindet sich noch in tätigem Zustande. Wir hatten bereits früher einmal die Gelegenheit, die Frage, was ein tätiger und was ein erloschener Vulkan sei, zu berühren und müssen nun etwas eingehender auf diesen Punkt zurückgreifen. Nach K. Fuchs[1]) sollten alle Feuerberge resp. Eruptionsstellen, die seit 300 Jahren keine Ausbruchstätigkeit mehr gezeigt haben, als erloschene zu betrachten sein, was, wie Supan dazu bemerkt hat, für solche Gegenden, wo neben ruhenden auch tätige Feuerberge vorkommen, Geltung haben mag,

[1]) Die vulkanischen Erscheinungen der Erde. Leipzig und Heidelberg, 1865.

„denn hier ist die Ruhe vielleicht nur Schlaf, nicht Tod.“ Den Puy de Dôme in der Auvergne dagegen oder den Förmerich in der Eifel kann man nach dem Genannten mit einigem Recht erloschene Vulkane nennen, „weil die vulkanischen Gebiete, in denen sie liegen, seit Menschengedanken keinen Ausbruch mehr erlebt haben“ Wir unterscheiden besser tätige und erloschene Vulkangebiete, statt von tätigen und erloschenen Vulkanen zu reden. „Die ersteren enthalten zuweilen nur tätige und schlafende Vulkane, die letzteren dagegen nur erloschene Vulkane.“

Fuchs hat 325 tätige Vulkane gezählt, eine, wie Supan meint, entschieden zu niedrig gegriffene Zahl, die aber selbst verdoppelt noch geringfügig sein würde gegenüber der gewaltigen Reihe der erloschenen Feuerberge. Mercalli[1]) führt 415 tätige Vulkanberge auf, eine Zahl, die sich zusammensetzt aus denjenigen Ausbruchsstellen (in weitem Sinne gemeint), die vom Jahre 1800 ab Eruptionen aufzuweisen hatten, und aus solchen, die zwar seit 100 Jahren ruhen und keine Zeichen irgendwelcher größeren Tätigkeit gegeben haben, deren vor diese Zeitperiode fallenden Ausbrüche oder deren Solfatarazustand jedoch verbieten, sie als erloschene zu betrachten. Dem vorzitierten Werk des genannten italienischen Vulkanologen entnehmen wir die nachfolgende, von den eben erwähnten Gesichtspunkten aus zusammengestellte Tabelle der tätigen Vulkane.

Die Kraftäußerungen dieser Feuerberge geben sich nun auf sehr verschiedene Weise kund, und in dem Bestreben, das der Mensch einmal hat, alles, auch die Naturerscheinungen, recht hübsch zu klassifizieren, hat man denn auch versucht, die verschiedenen Formen der vulkanischen Eruptionstätigkeit festzulegen, indem man dieselben mit Namen bezeichnet hat, welche derjenigen vulkanischen Esse entlehnt wurden, an welcher die betreffenden Erscheinungen am häufigsten auftreten, für welche sie also gewissermaßen typisch sind. Ohne daß damit jedoch

[1]) Vulcani attivi della terra. Milano, 1907.

Vulkanisches Areal	Vulkane, die nach dem Jahre 1800 Ausbrüche hatten	Ruhende, bez. im Solfatarazustande befindliche Vulkane	Anzahl beider Formen von Vulkanen
Italien und Griechenland (Vulkangebiet des Mittelmeeres)	8	3	11
Asiatischer Kontinent (westliches und zentrales Asien)	3	8	11
Unterseeische Vulkane des südlichen Asiens	2	—	2
Kamtschatka	8	9	17
Kurilen	8	8	16
Japan	18	20	38
Unterseeische Vulkane in den japanischen Gewässern	3	4?	7
Formosa und nahebei gelegene unterseeische Vulkane	2	4	6
Philippinen	8	7	15
Molukken und Celebes	10	10	20
Kleine Sundainseln	7	6	13
Java und Vulkane der Sundastraße	15	14	29
Sumatra und Golf von Bengalen	9	3	12
Afrika und Rotes Meer	5	7	12
Indischer Ozean mit den Komoren und Réunion	2	1	3
Vulkane im Nordpazifik (Mariannen und Hawaii)	3	4	7
Inselvulkane im Südpazifik, z. B.:			
Melanesien (Neuguinea und Neuhebriden	6	3	9
Polynesien (Samoa, Tongainseln und unterseeische Vulkane	8	—	8
Galapagosinseln	2	—	2
Neuseeland	4	1	5
Vulkane des australischen Pazifik	4	2	6
Aleuten und Alaska	13	21	34
Nordamerika und Mexiko	11	3	14
Zentralamerika	21	10	31
Südamerika	23	14	37
Kleine Antillen (Bahama-Florida)	6	3	9
Island und Jan Mayen	13	11	24
Azoren, Kanarische Inseln, Kapverden mit den unterseeischen Vulkanen	7	8	15
	239	184	413

gesagt sein soll, daß sich eben diese Art von vulkanischer Arbeit gerade allein auf den Vulkan beschränkt, nach welchem sie genannt ist. Wir brauchen hier nur an das zu erinnern, was wir bereits früher schon über die Solfatarentätigkeit gesagt haben.

Von dem uns ebenfalls schon bekannten Stromboli auf den Liparen (Fig. 21) hat die eine Kategorie vulkanischer Arbeitsleistung, die strombolianische Tätigkeit, ihren Namen. In rhythmischen Intervallen wirft dieser Berg magmatisches Material in der Gestalt von glühenden Bomben und Schlackenmassen aus und gibt auch, und zwar meist nur auf einer Seite des Kegels, kleineren Lavaströmen das Leben. Aschen werden gar nicht oder nur in sehr geringer Menge gefördert, und die dabei ausgehauchten Dämpfe sind von rein weißer Färbung. Neben dieser seiner normalen strombolianischen Arbeit zeigt der genannte Vulkan zu gewissen Zeiten und in sehr unregelmäßigen Intervallen besonders heftige Explosionen, die gewöhnlich sehr unerwartet auftreten und von starken Erschütterungen, ebenso von gewaltigen Detonationen, die man bis auf 40 km Entfernung hören kann, begleitet sind.

Neben den, dem glühenden Magma entstammenden, weiter oben aufgeführten Auswurfsprodukten schleudert der Krater dann aber auch noch größere und kleinere Blöcke und Brocken bereits solidifizierter älterer Lava aus, ebenso ältere Schlacken, Lapilli und Aschen, die ebenfalls aus zertrümmerter, längst verfestigt gewesener Lava bestehen. Derartige Ausbrüche hat Mercalli strombolianische gemischte genannt; ihr Unterschied gegenüber den normalen strombolianischen besteht also in dem Auswurf älteren Eruptionsmaterials neben frischem. Beide Kategorien der strombolianischen Kraftäußerung treten auch am Vesuv auf, um hier ein Beispiel für einen anderen Feuerberg, an dem diese Art der Tätigkeit sich auch noch zeigt, anzuführen.

Eng verwandt mit der strombolianischen Tätigkeit ist die hawaiische, nach den uns auch schon bekannten Vulkanen der

Hawaii-Inseln so genannt. Die äußerst dünnflüssigen Laven, die dabei gefördert werden (Fig. 60 und 61), sind bei diesem Typus sehr viel dampfärmer als beim strombolianischen, daher sind auch seine Eruptionen durch den fast gänzlichen Mangel heftiger Explosionen ausgezeichnet. Sowohl die strombolianischen als auch die hawaiischen Phänomene sind nun auf vulkanische Essen, die basaltisches Magma fördern, beschränkt und können nur an solchen Ausbruchsstellen stattfinden, deren vom Glutbrei erfüllter Schlot in direkter Verbindung mit der Atmosphäre steht.

Eine weitere Abart vulkanischer Tätigkeit, die vulcanische, nach einem anderen Krater der Äolischen Inseln, nach demjenigen von Vulcano so genannt, tritt besonders bei Vulkanen auf, deren Glutbrei sehr zähflüssig ist, so daß die Mündung des Schlotes immer und wieder durch Pfropfen rasch erkalteter Lava verstopft, resp. verengt wird, ein Umstand, der großartige explosive Wirkungen und den Ausbruch beträchtlicher Aschenmassen zur Folge hat. Die dabei entwickelte aschgraue oder schwärzliche Rauch- und Dampfwolke steigt verhältnismäßig langsam aus dem Krater hervor und nimmt die charakteristische Form eines ungeheuren Blumenkohlkopfes an, oder auch diejenige eines Riesenpilzes, in welcher sie noch geraume Zeit über dem Schlote schwebend verharrt, falls nicht etwa ein heftiger Windstoß sie auseinandertreibt.

Auch bei Vulkanschloten, aus denen basisches Magma ausgestoßen wird, können zuweilen vulcanische Explosionen stattfinden, so, wenn nach heftigen strombolianischen Eruptionen oder kräftigen Lavenergüssen umfangreiche Massen im Krater zusammenstürzen und dadurch den Kraterhals verstopfen, usf. Dieser Sorte von vulcanischer Tätigkeit, die eigentlich keine echte derartige ist, hat Mercalli die Bezeichnung halbvulcanischer (esplosioni semi-vulcaniane) gegeben. Anläßlich des letzten großen Vesuvausbruchs im Frühjahre 1906 sollen solche mehrfach vorgekommen sein, so in den Tagen vom 8. zum 15. April.

Feuerberge mit der Förderung trachi-andesitischer Laven, die in der Gegenwart im vulcanischen Sinne tätig sind, sind nach Mercalli der Vulkan von Santorin (1866-70), der Calbuco in Chile (1893), der Puracé in Ecuador (1849 und 1869), der Guntur auf Java (1836 und 1843), und auch die Montagne Pelée auf Martinique rechnet dieser Autor dazu.

Die plinianische Tätigkeit umfaßt die explosiven Ausbrüche von besonderer Stärke, vulkanische Kraftäußerungen von ausnahmsweiser Steigerung, die Paroxysmen der Vulkane. Der Typus dafür ist der von Plinius dem Jüngeren beschriebene große Vesuvausbruch vom Jahr 79 unserer Zeitrechnung. Besonders charakteristisch für die plinianischen Eruptionen sind vorhergegangene Ruhestadien von vielen Jahren, und als Vorboten starke Erderschütterungen, ihre ungemein starken Explosionserscheinungen, ihre im Verhältnis zu ihrer Intensität immer nur relativ kurze Dauer, das Auswerfen von fast ausschließlich bereits verfestigtem vulkanischen Material, das Einreißen und Erniedrigen des Vulkankegels bei Vergrößerung des Kraters, die Seltenheit nachfolgender Lavenergüsse und das oftmalige Vorkommen von Sturzlawinen aus detritischem Material und von vulkanischen Schlammströmen. Die denkwürdigen Ausbrüche des Coseguina, des Timboro und des Krakatau[1]) sind Beispiele für in den letzten 100 Jahren plinianisch tätig gewesene Vulkane.

In ultravulcanischem Sinne tätig sind diejenigen Feuerberge, deren gewaltige explosive Arbeit lediglich darin besteht, den vorhandenen Kegel oder Berg zusammenzureißen, dieses losgerissene Ruinenmaterial zu zerstäuben und weite Gebiete damit zu bedecken.

Ungeheure Mengen von Wasserdampf werden zugleich mit in die Atmosphäre hinaufgeschleudert. Aus einem im Berg

[1]) Eine plinianische Eruption, wie diejenige des Krakatau stellt das dar, was Sueß (Antlitz der Erde, III, 2) eine „phreatische Explosion" nennt, die entsteht, „wenn juveniler Wasserstoff mit unbegrenzten Mengen vadosen Wassers zusammentrifft".

vorhandenen flüssigen Magmabrei stammende Auswurfsmassen fehlen ganz. Ein typisches Beispiel für die ultravulcanische Tätigkeit hat der Bandai-San in Japan im Juli 1888 geboten.

Eine letzte Form vulkanischer Tätigkeit hat endlich die Montagne Pelée auf Martinique geboten, die nach der Anschauung von Mercalli, Anderson, Flett und anderen in die Kategorie der vulcanischen Arbeitsleistungen zu rechnen sein würde, nach derjenigen von Lacroix, der wir uns anschließen wollen, jedoch volle Berechtigung hat, als besonderer Typus vulkanischer Arbeit zu gelten. Der großartigen Felsnadel, die im Schlot des ebengenannten Vulkans aufstieg und von schwamm- resp. teigartiger Beschaffenheit gewesen ist, enthielt eine Unmasse von Gasen und Dämpfen eingekerkert, die sich im Augenblicke, wo sich ihnen an irgendeiner schwächeren Stelle der Magmasäule Gelegenheit dazu bot, mit unbeschreiblicher Gewalt zu befreien bestrebt waren. Diese Stelle dürfte sich sehr wahrscheinlich an der noch im Krater steckenden Basis des sehr widerstandsfähigen und sehr zähen Lavapfropfens befunden haben, und es wurden die explodierenden Gase nicht aus der Kratermündung, sondern seitlich, noch aus der Flanke des Berges herausgeschossen. Diese Mischung überhitzten Wasserdampfes und glühender Magmateile war von so bedeutender Schwere, daß sie sich nicht oder nur zum geringen Teile in die Lüfte hinauferheben konnte, sondern von ihrem eigenen Gewicht am Erdboden festgehalten wurde und talabwärts rollen mußte. Die Temperatur dieser Glutwolken, welche die peléische Tätigkeit charakterisieren, war eine sehr hohe; nach den auf sehr sorgfältigen Beobachtungen fußenden Berechnungen von Lacroix muß dieselbe beim Heraustreten der Glutwolken aus dem Berg, über 1000° C betragen haben. Die Fig. 82—87 geben diese Erscheinung wieder[1]).

---

[1]) Johnston Lavis hat dagegen folgende 9 verschiedene Formen von vulkanischer Tätigkeit unterschieden:

1. Mephitische, bei Schloten mit saurem und basischem Magma vorkommend.

Eine Belehrung und eine Darstellung über das Wesen der Feuerberge, die in den Tagen der Gegenwart geschrieben wird, könnten auf eine gewisse Vollständigkeit nicht wohl Anspruch machen, wenn sie nicht auch eine Schilderung dieses Ausbruchs des Mont Pelé bringen würde, der zu den schrecklichsten Katastrophen gehört, von denen die Kulturwelt in den jüngst verflossenen hundert Jahren heimgesucht wurde. Wir lassen dieselbe auf den nachstehenden Seiten folgen, ebenso die Beschreibung der fast gleichzeitig erfolgten und mit den Vorgängen auf der Martinique wohl zusammenhängenden Eruptionen des Vulkans des Soufrière auf einer anderen Insel der Kleinen Antillen, St. Vincent.

Im Osten der Großen Antillen zieht sich der Kranz von Eilanden im Ozean dahin, dem man die Bezeichnung der Kleinen Antillen gegeben hat. Sie bilden einen etwa von Norden nach Süden sich erstreckenden und nach Westen geöffneten Bogen, in dessen Mitte die drei größten Eilande der Gruppe, Guade-

---

2. Fumarolische, ebenso.

3. Solfatarische, bei Vulkanen, die saures Magma fördern, nur selten bei solchen mit basischen Laven.

4. Strombolianische, bei Vulkanen mit basischem Magma, u. zw. a) Gewöhnliche chronische Tätigkeit mit geringer Lavenförderung. b) Paroxysmale Eruptionen, sehr selten.

5. Vesuvianische, ebenso, u. zw. a) Gewöhnliche Tätigkeit mit reichlichen Lavaergüssen. b) Paroxysmale Tätigkeit, häufig.

6. Isländische, bei basische Lava ergießenden Vulkanen, seltener bei solchen mit sauren, u. zw. a) Ruhezustand. b) Paroxysmale Tätigkeit, meist mit großen Lavaströmen.

7. Vulcanische oder peléische, bei Vulkanen mit sauren Laven, u. zw. a) Solfatarische oder fumarolische Tätigkeit b) Paroxysmale Tätigkeit.

8. Plinianische oder explosive, Vulkane mit beiden Arten von Laven umfassend, lose Auswurfsmassen als Charakteristikum.

9. Phlegräische, meist bei saure Laven fördernden Essen, seltener bei solchen mit basischem Magma. Bezeichnend dafür die Entstehung eines Vulkans, und zwar gewöhnlich auf explosive Weise und als Produkt eines einzigen Ausbruchs, oder, seltener, mehrerer Vulkane, deren Aufschüttungen jedoch durch lange Intervallen getrennt sind.

(The eruption of Vesuvius in April, 1906. In: Scientific Transactions of the Royal Dublin Society, vol. IX., part 8, January 1909. Dublin 1909).

loupe, Dominica und Martinique gelegen sind. Dieser Bogen begrenzt das östliche und südöstliche Ende des Caraibischen Meeres, das im Norden von der Halbinsel Yucatan, dann von den Großen Antillen, Kuba, Jamaika, Haiti, Portoriko und verschiedenen kleinen Eilanden, dann von den Kleinen Antillen, Venezuela, Kolumbien und der Ostküste Zentralamerikas umschlossen wird. Man unterscheidet in dem Inselbogen der Kleinen Antillen die Inseln über dem Winde, die den östlichen Bogenteil ausmachen, und die Inseln unter dem Winde, den südlichen und südöstlichen, der mit der venezuelanischen Küste parallel verläuft.

Fig. 82.

Nun ist die östliche Umrandung des Caraibischen Meeres längst bekannt als eine Stätte junger, vulkanischer Tätigkeit, wenn diese auch bisher, um mit Deckert[1]) zu reden, ganz im allgemeinen den Eindruck einer gewissen Schwächlichkeit und Schlaffheit gemacht hat. Einzig und allein einer derjenigen Feuerberge, der auch in den Maitagen 1902 wieder zu neuem Leben erwacht ist, die Soufrière

Fig. 83.

[1]) Die westindische Vulkankatastrophe und ihre Schauplätze. In: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1902.

Die Erdbebenherde und Schüttergebiete von Nord-Amerika in ihren Beziehungen zu den morphologischen Verhältnissen. Ebenda.

von St. Vincent, hatte sich in der großen Aschen- und Lavaeruption vom 27. April 1812 nach beinahe hundertjähriger Ruhe noch einmal einer bedeutenden Kraftäußerung fähig gezeigt.

Fig. 84.

Nur schwach dagegen waren die Aufwallungen der unterirdischen Mächte bei der Soufrière von Dominica 1870, und beim Mont Pelé auf Martinique im Jahre 1851. Dann haben im Jahre 1867 in der St. George-Bucht von Grenada, der südlichsten der Inseln über dem Winde, eine submarine Eruption stattgefunden, und im 18. Jahrhundert solche des Vulkans von Guadeloupe (1797) und desjenigen von St. Lucia (1766), die beide denselben Namen Soufrière führen, wie der Feuerberg von St. Vincent.

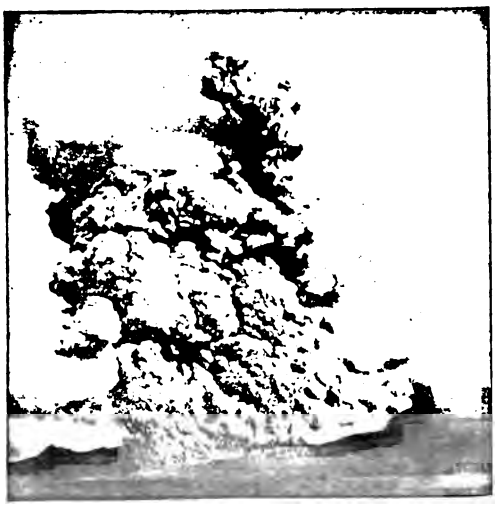


Fig. 85.

Aber auch diese beiden letztgenannten Ausbrüche scheinen nichts Besonderes an sich gehabt zu haben, und diejenigen, die sich im Jahre 1792 auf der Martinique zugetragen haben sollen, sind bezüglich ihrer Existenz nicht ganz über alle Zweifel erhaben. Die Lebensbetätigung dieser Feuerberge hat sich seither lediglich nur durch einen solfataraähnlichen Zustand oder

durch Fumarolenexhalationen geäußert, und von den übrigen Vulkanen der Kleinen Antillen kennt man größere, Aschen und Laven fördernde Paroxysmen in historischen Tagen nicht.

Guadeloupe besitzt einen Flächenraum von 1515 qkm und 155000 Einwohner, Dominica 754 qkm und 30000 Seelen, Martinique 987 qkm und (vor der Katastrophe des Jahres 1902) 187000 Bewohner. Die übrigen Eilande, St. Cristopher, Antigua, St. Lucia, Barbardos und St. Vincent sind von bedeutend geringerem Umfang.

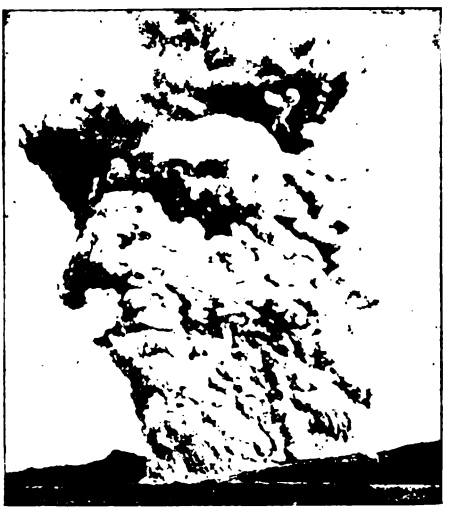


Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 82—87. Ausbruch einer Glutwolke aus dem Mont Pelé auf Martinique am 16. Dezember 1902. Nach photographischen Aufnahmen von Lacroix. Die Erscheinung entwickelte sich durchaus analog der verhängnisvollen Glutwolke vom 8. Mai 1902 und besaß, als sie das Meer erreichte (Fig. 86 und 87) eine Höhe von 4000 m.

Wenn die eigentliche vulkanische Tätigkeit hier, wie gesagt, eine recht schlaffe gewesen ist, so war dem nicht so in seismischer Hinsicht, in Beziehung auf Erderschütterungen, die im östlichen Randteil des Caribischen Meeres ungleich lebhafter aufgetreten sind. „Auf der Strecke von Ost-Kuba und Jamaika über San Domingo und St. Thomas nach Guadeloupe, ebenso wie in der Küstengegend von Venezuela sind sogar Katastrophenbeben nicht selten gewesen“ (Deckert).

Nördlich von Guadeloupe liegt die kleine Insel Montserrat, die mit dem Jahre 1896 in eine unerhörte Erdbebenperiode getreten war, derart, daß fast kein Tag verging, an dem nicht größere und kleinere Erderschütterungen des Bodens vorgekommen wären, an vielen Tagen über hundert, und in manchem Monat über tausend. Im April 1897 kam es zu einer förmlichen Katastrophe, die auch Guadeloupe in Mitleidenschaft zog und eine ganze Anzahl Menschenleben forderte. „Sicherlich," sagt Deckert, „ist diese langjährige Schütterperiode von Montserrat nicht ohne Beziehungen zu den furchtbaren Vulkanausbrüchen von Martinique und St. Vincent, und man hat schwerlich unrecht, wenn man sie als hauptsächlichstes Vorspiel derselben bezeichnet. Der durch die Beben angedeutete geotektonische Prozeß, der bei Montserrat vorging, konnte ja nicht verfehlen, die Spannungsverhältnisse an andern Stellen des Inselbogens, der dem Caribischen Meereseinbruch zurzeit noch widersteht, stärker und stärker zu steigern, und mehr und mehr forderten diese Spannungsverhältnisse zwingend eine Auslösung."

Gleiches ist im Jahre 1812 der Fall gewesen, aber die Auslösung der Spannungen erfolgte sehr viel rascher, und darum waren die vulkanischen Erscheinungen, die sie zur Folge hatte, weniger intensive. Dem Erdbeben vom 26. März dieses ebengenannten Jahres, das Caracas in Schutt legte und auch den südöstlichen Teil der Caribischen See erbeben ließ, folgte am 30. April der schon erwähnte Ausbruch der Soufrière von St. Vincent. Und dem Ausbruche auf Martinique und St. Vincent im Jahre 1902 ging das Erdbeben vom 30. Oktober 1901 in Venezuela voraus, das bei Caracas seinen Schütterherd hatte und die Stadt Guaronas zerstörte. „Wenn die Soufrière von St. Vincent wieder allein spielte, so würde man dieses Beben in erster Linie für die neue Eruption verantwortlich machen können. Das grausige Zusammenspiel des Mont Pelé und der St. Vincent-Soufrière, das nahezu gleichzeitig begann (7. und 8. Mai), deutet auf ein größeres System, das bei dem Prozeß beteiligt ist, und

bei diesem System kommt der tektonische Vorgang bei Montserrat zu allererst in Frage. In einem etwas ferneren, nichtsdestoweniger aber ebenfalls bemerkenswerten Zusammenhang mit der großen Vulkankatastrophe hat aber füglich auch das große Guatemala-Erdbeben vom 18. April 1902 gestanden, das den ersten Regungen im Mont Pelé nur um fünf Tage vorausging.

Ein großer, langer und breiter unterseeischer Damm trennt die Caribische See vom Atlantik, und auf diesem erhebt sich die Inselwelt der Kleinen Antillen, die nur die über das Meer emporragenden Gipfel dieses submarinen Gebirges bilden. Die zwei tiefsten Quereinschnitte in diesem, die schwächsten Stellen des Dammes, aber zugleich auch die tiefsten Wasserstraßen zwischen beiden Meeresteilen, befinden sich zwischen Dominica und Martinique und zwischen St. Lucia und St. Vincent. Gerade an den Stellen, wo diese Paroxysmen des Jahres 1902 sich vollzogen haben!

Beginnen wir mit den Vorgängen auf Martinique[1])!

Diese Insel zerfällt in drei deutlich geschiedene Teile, in einen nördlichen, den der 1577 m hohe Mont Pelé bildet, in einen mittleren mit den Pitons de Carbet (1207 m), und in einen südlichen, dessen Haupterhebung Mont du Vauclin heißt und 505 m Höhe zeigt. Der tiefe Einschnitt der Bucht von Fort de France trennt den mittleren vom südlichen Teil, eine flache Bucht, die Rhede von St. Pierre, den mittleren vom nördlichen.

[1]) Siehe darüber besonders die bereits früher zitierten Werke von Lacroix, La Montagne Pelée et ses éruptions, und La Montagne Pelée après ses éruptions, von Heilprin, Mont Pelé and the tragedy of Martinique, dann: K. Sapper, Die geographische Bedeutung der mittelamerikanischen Vulkane, in: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1902, und: Die vulkanischen Ereignisse in Mittel-Amerika und auf den Antillen, ebenda, 1903, ferner: Ein Besuch von Martinique, in: Centralblatt für Mineralogie, usf., 1903, No. 11; auch L. Dressel, S. J., Die Vulkanausbrüche auf den Antillen, in: Frankfurter zeitgemäße Broschüren, Bd. 22, Heft 6, Hamm i. W., 1903, und E. O. Hovey, Martinique and St. Vincent, New York, 1902; Martinique and St. Vincent revisited, New York, 1903; the 1902—03 eruptions of Mont Pelé, Martinique, and the Soufrière, St. Vincent, New York, 1903; Present condition of Mont Pelé, New York, 1904, usf.

Jedoch ist hier die Scheidelinie durch eine tiefe Einsenkung des Geländes ausgesprochen, auf deren höchster Stelle, in etwa 450 m Meereshöhe das Dorf Morne Rouge erbaut ist. „Da die Ostküste trotz ihrer reichen Gliederung, trotz zahlreicher Halbinseln, Vorsprünge und vorgelagerter Inseln wegen der starken Brandung und der Kette von Korallenriffen sich für die Schiffahrt wenig eignet, so haben sich naturgemäß die wichtigsten und größten Siedelungen an der Westseite, und zwar an der Einschnürung zwischen den Haupttälern der Insel entwickelt: Fort de France und St. Pierre. Letztere Stadt hatte die größere kommerzielle Bedeutung erlangt, da der jungvulkanische nördliche Teil der Insel eine größere natürliche Fruchtbarkeit besaß, als die beiden anderen Teile derselben; er hatte außerdem den Vorzug leichterer Bodenbearbeitung geboten und hatte vermöge seiner geringeren Neigungen vor dem mittleren Inselteil, vermöge des größeren Regenfalls vor dem südlichen Inselteil einen wesentlichen Vorsprung voraus gehabt“ (Sapper).

Wir sehen von den übrigen hier nicht in Betracht kommenden Vulkanen der Insel ab (Pitons de Carbet, Pointe de Bourgos, usf.), die in den neueren Zeiten nicht mehr in Tätigkeit getreten sind, und wenden uns zunächst zum Mont Pelé, dessen Berggipfel in der Luftlinie kaum 8 km von St. Pierre entfernt ist, und von dessen Höhe man eine herrliche Aussicht genießt. Der Berg war ein flach ansteigender, 1577 m hoher Kegel und hatte auf seinem Scheitel einen kleinen See, den Lac des Palmistes, der im Westen und Norden von hügeligen Erhebungen umrandet war, deren höchste ein Kreuz trug und den Namen „Morne de la Croix“ führte. Der See hatte nach den Messungen von Leprieur und zwei anderen Gelehrten, die ihm kurz nach dem Ausbruch von 1855 einen Besuch abstatteten, etwa 300 Schritte Umfang, und sein Wasser ruhte in einem von Schlamm und Bimssteinbrocken ausgepolsterten Becken. Herrliche Palmbäume, Farne und Lobelia-Gebüsche sollen den Lac des Palmistes umstanden und zu einem kleinen Paradies gestaltet

haben. Zu seinem Spiegel stiegen die Einwohner von St. Pierre sehr gerne empor. Er war vielfach das beliebte Ziel ihrer Ausflüge. Emil Deckert, der den Mont Pelée im Jahre 1898 in der Regenzeit begangen hat, gibt uns folgendes anschauliches Bild von der damaligen Beschaffenheit seines Gipfels. „Hinter Morne Rouge beginnt dann bald ein steiler Aufstieg auf überaus schlüpfrigem Pfad, den die chasseurs de choux (Palmkohljäger) mit der Machete durch die Tropenvegetation hindurch gebahnt haben —, zuerst durch schönen Hochwald (grand bois), von über 900 m ab aber durch mannshohes, dichtes Gestrüpp von Zwergpalmen, Farrenbäumchen, Ried und dergl. mit zahllosen schön blühenden Blumen, vor allem Begonien und Orchideen dazwischen.

In 1100 m Höhe wird der Berg auf seiner Ostseite plateauartig, und hier stoßen wir zugleich auf besonders deutliche Spuren seiner vulkanischen Natur — auf tiefe Spalten, die das Gestein (meist in der Richtung von SW. nach NO.) durchsetzen, die beiden ersten nicht ganz 1 m, die letztere aber 2,5 m breit, so daß wir auf einem querüber gelegten Palmstamme hinüberklettern müssen. Aus der Tiefe steigt stechender, schwefeliger Dunst empor, als ein Zeichen, daß da unten noch eine lebhafte Solfatarentätigkeit vor sich gehen muß. An einigen Stellen findet in der Nähe dieser Spalten auch ein beschränkter Schwefelabbau für den örtlichen Bedarf statt.

Auf dem letzten Kilometer der Bergwanderung ist von einem Steigen keine Rede mehr, sondern nur noch von einem Waten in knietiefem Morast. Es ist ein mit vegetabilischen Verwesungsstoffen und Wurzeln reich durchsetzter und mit Feuchtigkeit auf das vollständigste durchtränkter Bimssteinboden, der auf dichter Andesitlava auflagert. Inmitten dieses Morastes liegt ebenfalls auf Andesitlava der Lac des Palmistes, der eigenartige kleine Kratersee des Mont Pelée, und an seinem Ufer schlagen wir unsere Zelte auf. — Ein Kraterwall umgibt den nur bis 2 m tiefen See nur im Süden und Westen, und wir können daher geneigt

sein, den Mont Pelée als einen echten Passatvulkan zu bezeichnen, von der Art, wie sie Professor Sapper beschrieben hat. —

Merkwürdig gespensterhaft wirken die stehenden Baumleichen auf dem Mont Pelé — gri-gri genannt —, von denen man glauben könnte, irgend ein Vulkanausbruch habe sie verbrannt; sie sollen aber tatsächlich durch die starken elektrischen Entladungen bei dem Orkan von 1891 verursacht worden sein, durch welche der Berggipfel zeitweise in eine förmliche Feuerwolke eingehüllt gewesen sein soll. Der vorhandene Kraterwall besteht aus Bimsstein und ist nur von spärlicher Vegetation bekleidet.

Nur etwa 2 km abwärts am Westhang gibt uns der Berg eine weitere deutliche Kunde von seinem eigentlichen Wesen. Da entfließen einer Spalte Schwefelquellen von annähernder Siedehitze — die sogenannten Sources de la Soufrière. Und dicht daneben finden sich hier zwei deutliche kleine Krater, aus denen im August 1851 die sicher verbürgte Aschen-Eruption stattfand. Unmittelbar darunter aber befindet sich eine ganze Reihe von ähnlichen Kratern, die weniger gut erhalten sind, die vielleicht teilweise von 1792 herrühren, jedenfalls aber nur wenige Jahrhunderte alt sind. Die Atmosphärilien und der tropische Pflanzenwuchs maskieren und zerstören ja solche Spuren der vulkanischen Tätigkeit sehr rasch. Sie schaffen auch, das läßt sich vor allem in der Regenzeit beobachten, sehr rasch breite und tiefe Erosionsschluchten an den Flanken eines Vulkans."

Nicht weniger denn fünfundzwanzig Wasserläufe, von denen etwa die Hälfte den stolzen Namen „Rivière" bekommen hat, ziehen vom Pelée herab, und die meisten derselben verlaufen in derartigen Erosionsschluchten. Im Norden gehören zu den bedeutendsten die „Grande Rivière", die „Rivière Macouba" und die „Falaise". Am „Prêcheur" lag das gleichnamige Dorf, dessen Zerstörung am 6. und 7. Mai die große Katastrophe einleitete, im Süden folgen dann die „Rivière Blanche", die „Sèche" und die „Rivière des Pères"; die letztere trennte St. Pierre von

seinem Vororte Fonds-Coré. Die „Roxelane" aber durchfloß St. Pierre selbst, zum Teil zwischen steinernen Ufermauern, über denen schöne Villen und prangende Gärten sich erhoben und diesen Teil der unglücklichen Stadt äußerst anziehend gestalteten.

Die Gründung der Stadt datiert aus dem Jahre 1635. In sehr malerischer Lage breitete sie sich längs der Bucht an der Westküste der Insel aus und war der Handelsvorort von Martinique. Schon von ferne erblickte man vom Schiffe aus ihr Weichbild; Häuser an Häuser, überragt von schlanken Palmenhainen, zog es sich an den Berghalden hinauf. St. Pierre besaß eine Handelskammer, eine Bank, ein Seminar und war Bischofssitz, hatte auch ein schönes Theater, eine reich geschmückte Kathedrale, einen berühmten botanischen Garten, ein Gymnasium, eine Kolonialschule, gute Hospitäler und eine Irrenanstalt. Seine Industrie bestand wesentlich in der Fabrikation von Rum und Orangenlikör. Kurz vor seiner Zerstörung besaß St. Pierre laut den Ergebnissen einer genauen Volkszählung 26011 Einwohner, darunter etwa 6000 Weiße. 4620 Seelen zählte der noch näher am Vulkan belegene Ort Le Prêcheur. St. Pierre war eine Stadt der heiteren Lebenslust, deren sittliche Zustände auf einem sehr viel tieferen Niveau gestanden haben sollen, als diejenigen anderer tropischer Orte; es war zugleich der Anziehungspunkt für die ganze Insel. Auch wurde St. Pierre als die schönste der Städte Westindiens gepriesen, ein Ruhm, den es aber nach Heilprin und anderen eigentlich nicht verdient haben soll.

Im Jahre 1851 hatte der Mont Pelé, wie wir schon weiter oben gesehen haben, einen Ausbruch. Er warf aus zwei kleinen Kratern in der Nähe des Gipfels Aschen aus. Der ganze Vorgang jedoch war höchst unbedeutender Natur und richtete keinen Schaden an. Die Bewohner von St. Pierre betrachteten den Vulkan als einen im Todesschlaf liegenden Berg und dachten an nichts weniger, als an die Möglichkeit einer Katastrophe, wie diejenige, die sie im Mai 1902 erleben sollten.

Schon etwa zwei Wochen vor dem gewaltigen Paroxysmus im ebenbesagten Monat war der Pelé in lebhafter und zunehmender Aufregung begriffen, warf Aschenregen aus, ließ schweflige Gase ausströmen, und zugleich bildete sich auf der Südwestflanke seines Berges eine Kraterspalte. Letzteres geschah etwa an der Stelle eines ehemaligen Feuerschlundes, des „Etang Sec", der von dem Westabhang des Morne de la Croix überragt wird. Das war am 25. April. Damals bereits waren die schwefligen Dämpfe in St. Pierre so lästig geworden und hatten sich in solcher Menge angesammelt und verdichtet, daß man nur mit Mühe atmen konnte, und daß Tiere in den Straßen der Stadt tot umgefallen waren. Die Quellen von Le Prêcheur, welche diese Ortschaft mit Wasser versorgten, blieben aus, so daß man dieses von St. Pierre herbeischaffen mußte. Am 2. Mai fiel ein sehr mächtiger Aschenregen auf St. Pierre hernieder; der Verkehr stockte gänzlich und größere Beängstigung der Gemüter machte sich geltend. Und am 5. Mai ereignete sich die erste bedeutendere Katastrophe in dem Pelé-Ausbruch von 1902, die Zerstörung der Guérinschen Zuckerfabrik. Die Wolken auf dem Gipfel des Vulkans hatten im Laufe der vorhergegangenen Tage mehr und mehr zugenommen und erschienen in der Nacht vom 3. zum 4. Mai auf der Unterseite glühend rot, ein Beweis dafür, daß ganz außerordentliche Vorgänge im Krater erfolgen mußten. Für den 4. Mai hatte eine größere Gesellschaft aus St. Pierre schon längere Zeit vorher eine Besteigung des Pelé in Aussicht genommen. Inzwischen war der Vulkan aber wieder tätig geworden. Wie gering jedoch die Bedeutung gewesen ist, die man diesen Erscheinungen beimaß, daß mag der Umstand bezeugen, daß noch am 3. Mai in dem publizistischen Organ der Stadt, der Zeitung „Les Colonies", eine Mitteilung erschien, dahingehend, die für den nächsten Tag geplante Exkursion auf den Feuerberg könne nicht stattfinden und müsse bis auf weiteres verschoben werden, zumal der Kratersee gänzlich unzugänglich geworden sei.

Kehren wir zu der Zerstörung der Guérinschen Zuckerfabrik zurück! Nahe der Einmündungsstelle der Rivière Blanche erstreckt sich eine flache Landzunge, die das Bett dieses Wasserlaufes mit demjenigen der Rivière Sèche verbindet. Hier erhob sich eine der größten und rentabelsten industriellen Unternehmungen der ganzen Insel, die erwähnte Fabrik. Einige Minuten nach der Mittagsstunde stürzte am 5. Mai urplötzlich ein siedend heißer Schlammstrom unter Zischen und Brausen die Flanken des Berges herab, der aus dem Etang Sec herausgekommen war. Im kurzen Zeitraum von nur drei Minuten hatte diese dampfende Masse die drei Meilen große Entfernung zwischen ihrem Ursprungsorte und dem Meere durchsaust, alles, was ihr in den Weg kam, unbarmherzig in Trümmer legend und mit sich fortfegend, so auch die Zuckerfabrik, von der sie nur den hohen Schornstein unberührt ließ. Alle Menschen, die zurzeit in der Fabrik geblieben waren, 23 an der Zahl, fanden dabei den Tod.

Die Rivière Blanche war förmlich toll geworden; sie fuhr fort, gewaltige Massen heißen Wassers und Dampfes mit unendlichem Getöse vom Berge herabzuführen und soll sogar Blöcke von 50 Tons Gewicht mit sich fortgewälzt haben. Darüber, daß der Schlammausbruch auf den Etang Sec zurückzuführen ist, dürften kaum Zweifel obwalten. Dieser mußte die aus dem neugebildeten Krater herauskommenden Materialien zunächst in sich aufnehmen, bis seine Umrandung dem stetig anwachsenden Druck dieser Massen, als Schlacken, Aschen, Sande, siedendes Wasser und dergleichen mehr nicht länger stand halten konnte, durchbrach, und so dem Schlammstrom einen Ausweg schaffte. Diese Verhältnisse erklären denn auch die ungeheuren Mengen der ausgebrochenen siedend heißen und schlammigen Materie, die an etlichen Stellen 100 bis 150 Fuß Dicke erreicht haben dürfte.

Die Schreckenskunde von der Zerstörung der "Usine Guérin" stach den Bewohnern von St. Pierre doch allmählich den Star. Sie fingen an zu begreifen, daß die Dinge, die sich am Pelé

abspielten, doch nicht so ganz harmlos seien, trotz der Beruhigungsversuche von seiten der Regierung und trotz der Versicherung, die Sache würde dieses Mal auch nicht schlimmer verlaufen, als wie im Jahre 1851. Die gewaltige Schlammflut, die sich aus der Rivière Blanche in die See ergoß, hatte ein Zurückweichen und Wiedervordringen des Meerwassers zur Folge und erzeugte eine Art Sturzwelle, die sich über die niedrig gelegenen Stadtteile ergoß, glücklicherweise, ohne großen Schaden anzurichten. Aber das unheimliche Grollen und Donnern im Herzen des Berges dauerte fort und wurde immer stärker, Aschenregen fielen nieder und hüllten seine Umgebung in tiefe Finsternis, neue Ausbrüche heißen Wassers zerstörten die Dörfer Prêcheur, Basse Pointe und andere Ansiedelungen — und die Panik wuchs und wuchs. Viele dachten an Flucht; manche führten diesen Vorsatz auch aus und brachten sich auf den entfernteren Höhen und in Fort de France in Sicherheit, manche aber, durch die Versicherung des Gouverneurs, St. Pierre sei durch den Pelé nicht mehr gefährdet als etwa Neapel durch den Vesuv, vertrauensselig gemacht, blieben zurück, trotzdem von Stunde zu Stunde die Lage eine bedrohlichere wurde. Inzwischen aber rüstete sich der Mont Pelé zu seinem Hauptschlage gegen die unglückliche Stadt, deren Zeitung in der letzten Nummer, die sie zu verzeichnen gehabt hat und die das Datum des Mittwoch, 7. Mai 1902 trägt, einen Leitartikel über die Vulkane brachte, der das seinige zur Beruhigung der sehr aufgeregten Bevölkerung tun sollte. Auch eine Notiz finden wir in dem besagten Blatte, daß wegen des bevorstehenden Himmelfahrtsfestes die Bureaus der Zeitung am Donnerstag geschlossen seien, und die nächste Nummer daher erst am kommenden Freitag erscheinen würde.

Dieser Freitag ist aber für die Bewohner von St. Pierre nicht mehr heraufgedämmert.

Schon während des 7. Mai hatte der Vulkan immer bösartiger getobt und gebrüllt, während feuriger Widerschein die

seinen Scheitel umhüllenden Dampfwolken rötete und Blitze dieselben durchzuckten. Das Zwielicht, das den ganzen Tag über herrschte, ließ erkennen, wie weit und breit schon Elend und Zerstreuung Platz gegriffen hatten, die Folge der Ereignisse der verflossenen Stunden. Die See war bedeckt von allerhand Dingen, welche ihr die reißend gewordenen Flüsse von den Gehängen des Berges und den davor gelegenen Niederungen zugetragen hatten. Ganze Inseln von Bimssteinen, Baumstämmen, Balken und Brettern, kurz, von den verschiedensten Gegenständen schwammen darauf umher. Aber immer hegten St. Pierres Bewohner noch die stille Hoffnung, es möchte doch alles noch ein gutes Ende nehmen. Die Leute, die das wissen mußten, sagten ja so, und darum würde es doch wohl auch so sein. Und in dieser Zuversicht legten sie sich am Vorabend des Himmelfahrtstages zur Ruhe, unter dem Donnern und Brüllen des Vulkans, ohne die geringste Ahnung dessen, daß, bevor die Sonne nochmals untergehen sollte, sie nicht mehr vorhanden und ihre Häuser weggeblasen sein würden.

Der französische Kabeldampfer Pouyer-Quertier, der nach einem der infolge der jüngsten Vorgänge gerissenen unterseeischen Telegraphendrähte fischte und etwa 8 Seemeilen von St. Pierre entfernt auf der See lag, sandte am Morgen des 8. Mai eine Anfrage vermittels des Drahtes nach dieser Stadt, erhielt aber keine Antwort mehr darauf. Denn fast zur gleichen Zeit brach eine glühende Wolke aus dem Vulkan hervor und strich mit rasender Geschwindigkeit in der Richtung von Nordosten nach Südwesten über den Erdboden dahin, allem Lebendigem, das sie berührte, den Tod bringend. Mit nicht zu schildernder Vehemenz stürzte sich das Ungetüm auf die Stadt; eine schreckliche Detonation, überall aufzuckende Flammen, das alles das Werk einiger Minuten — und St. Pierre war einmal gewesen!

Ein englischer Handelsdampfer, „Roddam", Kapitän Freemann, war am 6. Mai auf der Rhede von St. Pierre angelangt. Dieses Schiff ist das einzige, das, dank dem über alles Lob

erhabenen Verhalten seines tapferen Kapitäns, dem Verderben entrinnen konnte. Was dieser brave Mann gesehen hat, und wie er das Gesehene schildert, das mag hier zunächst folgen.

Gegen 8.15 frühmorgens am Himmelfahrtstage befand sich Kapitän Freemann im Kartenhaus. Der größere Teil seiner Besatzung war an Deck und betrachtete den entfernten Vulkan, aus dem dichte Dampfwolken und zeitweilig auch Feuerschein herauskamen. Ganz plötzlich hörte er ein schreckenerregendes Getöse, als ob das ganze Land vor ihm von Lärm erfüllt wäre, und zugleich kam ein gewaltiger Windstoß daher, der die See in große Bewegung brachte und die Schiffe im Hafen hin und her schaukelte. Freemann eilte aus dem Kartenhaus, schaute bestürzt auf die Stadt und die Höhenzüge und erblickte Dinge, die jeder Beschreibung spotten. Er rief einen seiner Offiziere mit den Worten an: Sehen Sie einmal dorthin! Aber kaum waren diese Worte seinem Munde entflohen, als auch schon eine dichte Wolke heißer Massen auf das Schiff niederfiel. Alles, was sie in ihrem Zuge berührte, geriet sofort in Brand, auch die Fahrzeuge auf der Rhede. Freemann hatte das Gefühl, als ob ein gewaltiger Hammer auf sein Schiff niedersause, während die glühenden Lavastückchen nur so auf das Deck des „Roddam" herabhagelten. Jedermann suchte sich irgendwohin zu verkriechen, um diesem Feuerregen zu entgehen, die Hitze jedoch war so ungeheuerlich und die Luft so entsetzlich erstickend, daß eine Anzahl der Leute von der Bemannung, darunter der Obermatrose, in voller Verzweiflung über Bord sprangen. Andere kamen aus ihrem Versteck hervor, weil ihnen der Atem dort ausging, und eilten wieder auf Deck, wurden aber hier von den glühenden Aschenmassen förmlich geröstet. Freemann behielt den Kopf oben und war nur von dem einzigen Gedanken beherrscht, sein Schiff und die Überlebenden der Besatzung unter allen Umständen zu retten. Er befahl, den Anker zu kappen und Volldampf zu geben, und die tüchtigen und furchtlosen Leute an der Maschine brachten das mit unsäglicher Mühe und

Anstrengung auch zur Ausführung. Am ganzen Körper selbst stark verbrannt, blieb der heldenhafte Kapitän dennoch auf der Kommandobrücke; nach wenigen Stunden übermenschlicher Arbeit und bei gänzlicher Finsternis gelang es, das Schiff in die See hinaus zu bugsieren. Bei der Schwierigkeit, das Steuer richtig zu handhaben, wäre der „Roddam" beinahe mit dem lichterloh brennenden Dampfer „Roraima" zusammengestoßen, auf dessen Kommandobrücke Freemann zwei Gestalten mit verschränkten Armen stehen sah, die mutig ihr Ende erwarteten, und von denen die eine ihm noch ein „Lebewohl" zurief. Das Deck dieses Dampfers war besetzt von sinnlos hin- uud herrennenden Menschen in der gräßlichsten Todesangst. Als Freemann den Hafenausgang erreicht hatte, warf er einen letzten Blick auf die in hellen Flammen stehende Stadt. Qualm und Rauch lagen auf St. Pierre, ließen aber zeitweise die schwarzgebrannten Mauerreste der Häuser und die dazwischen auftauchenden schattenhaften Gestalten der wie geistesabwesend umherirrenden Männer und Frauen erkennen, und aus dem Gebrüll des Vulkans und dem Getöse der niederströmenden Aschen hörte man den Todesschrei von vielen tausend menschlichen Wesen deutlich heraus.

Wenige Tage darauf meldete eine Depesche aus St. Lucia, daß das Schiff ohne Anker und Kette und mit verbranntem Deck dort angelangt sei. Von der vierzig Mann starken Besatzung waren zwölf der Katastrophe zum Opfer gefallen. Der schwer verwundete Kapitän, der bis zu diesem Augenblick seinen Posten nicht verlassen hatte, mußte im Spital Unterkunft suchen.

Noch ein anderes Bild von dem gewaltigen Eindruck der Katastrophe auf deren Augenzeugen:

Am Himmelfahrtstage war ein Segler aus Bordeaux, die Marie-Hélène, im Begriff, in den Hafen von Martinique einzulaufen. Der Kapitän, ein alter Seebär, der sein ganzes Leben lang fast nur Reisen nach Martinique gemacht hatte, war auf Deck. Da erschaut er plötzlich etwas, was er nicht begreifen und fassen kann. Und allsogleich packt ihn namenlose Angst. Er ruft

einen Matrosen herbei, zeigt ihm das Land und fragt: Was siehst du dort?

Der Mann, selbst von ungeheurem Schrecken gelähmt, kann nur die Worte hervorstammeln: Ich sehe nichts, Kapitän! Wie sollte der Mensch denn auch den Ausdruck für das grausige Schauspiel gefunden haben, das sich dort vor seinen Augen abspielte? Der Kapitän wiederholt seine Frage: Aber Mann, du siehst doch etwas! Sag' mir, was geht denn da drüben vor? Ich weiß wirklich nicht Kapitän! Da nimmt der Ärmste den Kopf zwischen die Hände und bricht in den Verzweiflungsschrei aus: Zum Donnerwetter, bin ich denn verrückt geworden?

Ja, so war St. Pierre! Es bot ein derartig unerhörtes Schauspiel dar, einen Anblick so fern von allem dem, was das arme Menschenhirn an Gräßlichem zu ersinnen vermag, daß Leute, die dessen plötzlich gewahr wurden, ohne von den dortigen Vorgängen etwas zu wissen, glauben konnten, sie hätten den Verstand verloren!

Ein Herr Roger Arnoux, Mitglied der Französischen astronomischen Gesellschaft und Bewohner von St. Pierre, hatte sich am Abend des 7. Mai auf seinen außerhalb der Stadt belegenen Besitz „Le Parnasse" begeben und entging so dem Verderben, war aber gewissermaßen aus nächster Nähe Augenzeuge der Katastrophe. Seine Erlebnisse am Himmelfahrtstage hat er in einem Briefe an den bekannten Astronomen Camille Flammarion[1]) in Paris geschildert, von dem wir einige Auszüge geben wollen. Arnoux erzählt:

„Ich hatte St. Pierre gegen fünf Uhr abends verlassen und konnte deutlich sehen, wie der Vulkan gewaltige Felsstücke in die Lüfte schleuderte, und zwar in eine beträchtliche Höhe hinauf, denn sie brauchten etwa eine Viertelminute, bis sie wieder herabgefallen waren. Die Auswürflinge flogen im Bogen über die Spitze des Kegels, den Morne de la Croix hinüber. Gegen acht

[1]) Les éruptions volcaniques et les tremblements de terre. Paris 1902.

Uhr abends sahen wir zum ersten Male aus dem Krater am Gipfel länger anhaltende Flammen von sehr weißer Färbung hervorzucken, dann folgten bald darauf einige Detonationen von der Art, wie man sie in St. Pierre gehört hatte — (man hatte dort erst gemeint, es sei der Widerhall von Kanonenschüssen eines in den Gewässern von Fort de France Schießübungen abhaltenden Kriegsschiffes). Diese Entladungen schienen vom Süden her zu kommen, was mich in dem Gedanken bestärkte, es müßten submarine Eruptionen stattfinden, die bei Berührung mit der Luft explodierende Gase entlüden.

Bald nach neun Uhr ging ich zu Bette, erwachte aber nur kurze Zeit später bei unerträglicher Hitze, die mich in Schweiß badete. Da ich infolge der jüngsten Ereignisse sehr angegriffen war, erklärte ich mir diesen Zustand durch ein plötzliches Unwohlsein und legte mich wieder nieder. Nicht lange danach, um elfeinhalb Uhr, erwachte ich nochmals infolge einer Erderschütterung. Da jedoch niemand sonst im Hause etwas davon gemerkt hatte, nahm ich eine Nerventäuschung an und begab mich nochmals zur Ruhe. Gegen 7.52 Uhr am nächsten Morgen erhob ich mich vom Lager.

Sobald ich zur Haustüre hinausgetreten war, galt mein erster Blick dem Vulkan, den ich ziemlich ruhig fand, zumal ein heftiger Ostwind die seinen Scheitel umlagernden Dampfwolken immer wieder rasch verscheuchte. Um acht Uhr stand ich noch immer draußen und betrachtete den Berg, als ich plötzlich etwas Wellenartiges aus dem Krater herausquellen sah, das von einer wie flüssig erscheinenden beträchtlichen Masse gefolgt wurde die innerhalb drei Sekunden zur Pointe du Carbet hinabsauste. (Diese ist ein Vorsprung am Meere, jenseits, also südlich von St. Pierre gelegen.) Gleichzeitig war aber die Masse auch schon über unseren Häuptern, hatte sich also nicht minder rasch in die Breite ausgedehnt, als in die Länge. Diese Erscheinung bestand aus Dämpfen, welche sich von denjenigen, die der Vulkan bislang ausgehaucht hatte, in nichts unterschieden, grauviolett in

der Farbe waren und sehr dicht aussahen, denn, trotzdem sie unbeschreiblich rasch zu großer Höhe aufstiegen, behielten sie doch bis hoch hinauf ihre den Wolkenballen ähnliche Gestalt bei. Unzählige elektrische Entladungen sprühten daraus hervor, während ein entsetzliches Getöse uns beinahe taub machte.

Sofort wurde mir klar, daß St. Pierre zu Staub zerrieben worden sein müsse, und ich war tief bewegt beim Gedanken, daß alle meine Lieben, die ich am verflossenen Abend in der Stadt gelassen hatte, ums Leben gekommen sein müßten. Nunmehr schien es, als ob das Ungetüm uns näher rücken wolle, und meine von jähem Schrecken erfaßten Leute rannten auf eine in der Nähe des Wohnhauses befindliche kleine Anhöhe, indem sie mir zuriefen, auch so zu tun. Eine aufsaugende Luftwelle kam uns entgegen, welche die Blätter von den Bäumen riß und die kleinen Zweige zerbrach, auch unserem Wettlauf einen starken Widerstand bot. Wir hatten den Hügel kaum erreicht, da verfinsterte sich die Sonne und eine undurchdringliche Dunkelheit umgab uns. Dann hagelten Schlacken, deren größte etwa 2 cm Durchmesser hatten, auf uns herab, und über St Pierre, insbesondere über der Gegend, wo das Mouillage-Viertel liegt, stieg eine Flammensäule auf, die rasch vorwärts eilte, zugleich aber eine drehende Bewegung innezuhalten schien, ein förmlicher Feuerwirbel, der meiner Schätzung nach etwa 400 m Höhe gehabt haben dürfte. Dieser ganze Vorgang mag etwa 2—3 Minuten gewährt haben. Nun kam sofort ein Schlammregen an die Reihe, der den Steinhagel ablöste und die Gräser und die kleineren Sträucher zu Boden streckte, und zum Schluß ein gewaltiger Wolkenbruch von einer halben Stunde Dauer. Alles in allem hat sich die ganze Katastrophe etwa während der Zeit einer Stunde abgespielt. Alsdann kam die Sonne wieder zum Vorschein."

Ein Bericht des Staatsanwalts von Fort de France datiert vom 10. Mai, erzählt, wie die unglückliche Stadt zwei Tage nach dem grausigen Ereignis ausgesehen hat. „St. Pierre und seine Umgebung," so heißt es darin, „gleichen einem Ruinen- und Aschen-

haufen. Im Hafen schwimmt Holz in ungeheurer Menge umher, und zwei eiserne Dampfer liegen darin, stark zur Seite geneigt, ohne Masten und Tauwerk, gänzlich ausgebrannt. Keine Spur von einem Segler! Kein Boot, nur einige gestrandete oder mit dem Kiel nach oben treibende Piroguen! Am Ufer keine lebendige Seele und in der Umgebung ebenfalls nicht! Etwa ein Dutzend Menschen haben sich auf die Felsen zwischen St. Pierre und Le Carbet flüchten können. Der „Suchet" soll sie in Sicherheit bringen. Es sollen Leute von der Bemannung zugrunde gegangener Schiffe sein.

Ich ersuche den Kapitän (des Dampfers „Rubis", der den Erzähler von Fort de France nach St. Pierre bringen sollte), sich der Stadt so viel als möglich zu nähern, besteige ein Boot, und lande mit dem Leutnant und Fähnrich des „Suchet" ungefähr an der Stelle, wo die „Place du Mouillage" lag. Todesstille! Wir dringen bis zur „Rue Bouillé" vor. Hier treffen wir da und dort auf Leichen. Einige sind von den Gasen aufgedunsen und nicht verkohlt. Die aber, die zwischen den Häusertrümmern herumliegen, sind in diesem letzteren Zustande. Unmöglich weiter vorzudringen und in die „Rue Victor Hugo", den Mittelpunkt der Stadt zu gelangen! Man müßte, um das zu ermöglichen, fähig sein, auf glühenden Kohlen zu gehen.

Wir besteigen unser Boot und fahren zur „Place Bertin". Auch hier aufgedunsene und unverbrannnte Menschenleiber. Ihre Hände sind nicht krampfhaft zusammengezogen; der Tod muß rasch und schmerzlos erfolgt sein.

Die Quais sind nicht mehr vorhanden, auch kein Baumstamm steht mehr. Der Leuchtturm, der 30 m hoch war, ist bis auf einen Rest von 3 m verschwunden, die zum Aufstieg dienende Eisentreppe ist zertrümmert, doch zeigen weder die Eisenteile noch die übriggebliebenen Steine Brandspuren. Das Gitter um den Brunnen des Platzes ist gewaltsam verdreht.

In die „Rue Lucy" können wir nicht gelangen; die Hitze ist zu groß und zu erstickend. Wir fahren wieder an Bord, um die Flüchtlinge in Le Carbet zu holen."

Andere Augenzeugen, die von der See aus das Gelände von St. Pierre am Unglückstage gegen zehn Uhr gesehen haben, schreiben, daß das ganze Ufer in Brand geraten war, mindestens auf eine 5 km lange Strecke hin. Die Bäume, die vereinzelt auf den Pflanzungen stehenden Häuser, kurz, alles was brennbar war, stand in Flammen.

Grauenhaft sah es in St. Pierre aus, als die Hitze soweit nachgelassen hatte, um in die Stadt eindringen zu können (Fig. 88 u. 89). Der Bericht des Staatsanwalts von Fort de France läßt uns ja schon ahnen, wie das gewesen sein muß. Und dennoch, so wird glaubhaft versichert, genügt auch die stärkste Phantasie nicht, um sich ein richtiges Bild von der Verwüstung zu machen, die in der Zeit weniger Atemzüge über die so blühende Stadt hereingebrochen war. Die Kathedrale lag in Schutt, die aus Eisen erbaute Markthalle von 2000 qm Flächenraum und mit Säulen von 30 cm Dicke war nicht mehr zu sehen, das Zollhaus, das Spital, öffentliche und Privatgebäude waren nur noch Trümmerhaufen. Die Bäume waren geknickt oder entwurzelt; eine große und schwere Statue der Jungfrau Maria hatte der glühende Wirbelsturm 15 m weit fortgetragen. „Schwere Kanonen einer Batterie, die auf einem Hügel nördlich von der Stadt stand, wurden umgeworfen und von ihrem Platze weggeschoben. An der eisernen Brücke, welche über die an St. Pierre vorbeifließende Rivière Roxelane führt, fand man die Eisenplatten umgebogen, und zwar so, daß die Biegung vom Berge weg gegen die See hin erfolgt war. Dieser Umstand, sowie andere Beobachtungen ließen erkennen, daß die Richtung des Luftdruckes mit derjenigen der Aschenwolke übereinstimmte" (Dressel).

Die ganze Stadt war erfüllt von zahllosen Leichen, meist völlig nackt, das Gesicht der Erde zugekehrt, die Hand vor dem Munde. Die Kleider waren ihnen wie Zunder vom Leibe gefallen. Und dann die Aschenmassen, die St. Pierre bedeckten!

Bald verbreitete sich ein unerträglicher Gestank über dem ganzen Gelände. Die Leichen von Menschen und Tieren gingen

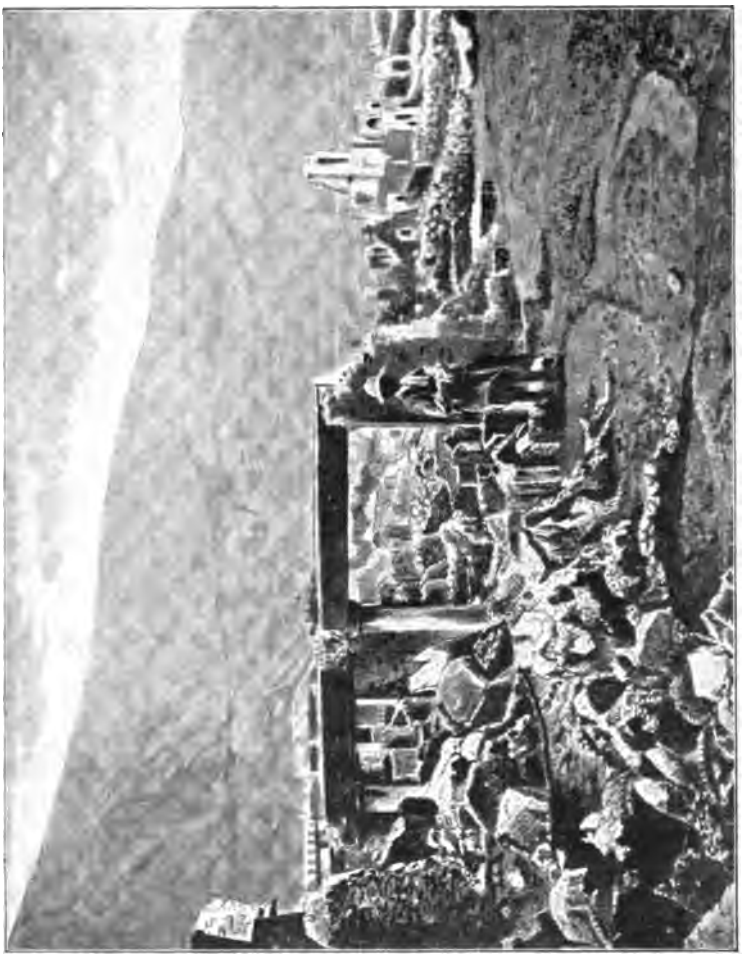


Fig. 88. Straßenbild aus dem zerstörten St. Pierre. Nach Anderson und Flett.

in Verwesung über. Waren doch nur zwei Menschen dem Unheil entronnen, ein im Gefängnis sitzender Verbrecher, ein Neger, namens Louis Cyparis, dessen unterirdische Zelle ihn vor dem Tode schützte. Er hörte das Donnern und Dröhnen des Pelé; die dicken Mauern seiner Zelle erzitterten heftig; er fühlte den heißen Hauch des Vulkans sogar dort unten in der Tiefe. Die entsetzliche Stille, die dann folgte, sagte ihm, daß die Bevölkerung der Stadt eine Beute des Todes geworden sei, und gleich einem, den man vergessen hat, riß und rüttelte er an dem Türgitter seines Gefängnisses. Es gab nach. Er taumelte in einen anderen Raum, in welchen heiße Asche von der Straße hereintrieb. Die Hitze war so groß, daß er schnell wieder seine eigene Zelle aufsuchte, wo er sich in der entferntesten Ecke verkroch, in Todesangst der weiteren Schrecknisse harrend. Nach vier Tagen wurde das Geschrei des halb irrsinnigen Schwarzen von einer Rettungsmannschaft gehört; er wurde, fast tot vor Hitze, Hunger, Durst, ans Tageslicht gebracht und so dem Leben erhalten. Der andere Gerettete war der in seiner Werkstatt befindliche Schuster Léon Compère.

In Fort de France schien der heitere Himmel am frühen Morgen einen schönen Tag vorauszusagen. Die Bevölkerung war mit Vorbereitungen für das Himmelfahrtsfest vollauf beschäftigt, als sich plötzlich rabenschwarze Nacht in der Stadt verbreitete und ein Hagel von kleinen Schlacken und Aschen niederging. Gleichzeitig fiel ein feiner und durchdringender Regen, der die eben genannten Massen zu Schlamm umwandelte, der auf die Häuser und Dächer klatschte. Dabei ertönte das donnerartige Gebrüll und Getöse des Vulkans. Große Panik ergriff die Bewohner der Stadt. Alles lief aus den Häusern und rannte davon, hinaus ins freie Feld, ein jeder mit den Dingen beladen, deren Rettung ihm zuerst am Herzen lag. Frauen trugen ihre Kinder, Männer unterstützten ihre vom Schreck halb gelähmten Weiber. Alle trieben vorwärts. Nur hinaus aus der Stadt, um nicht von den heranstürzenden Wogen

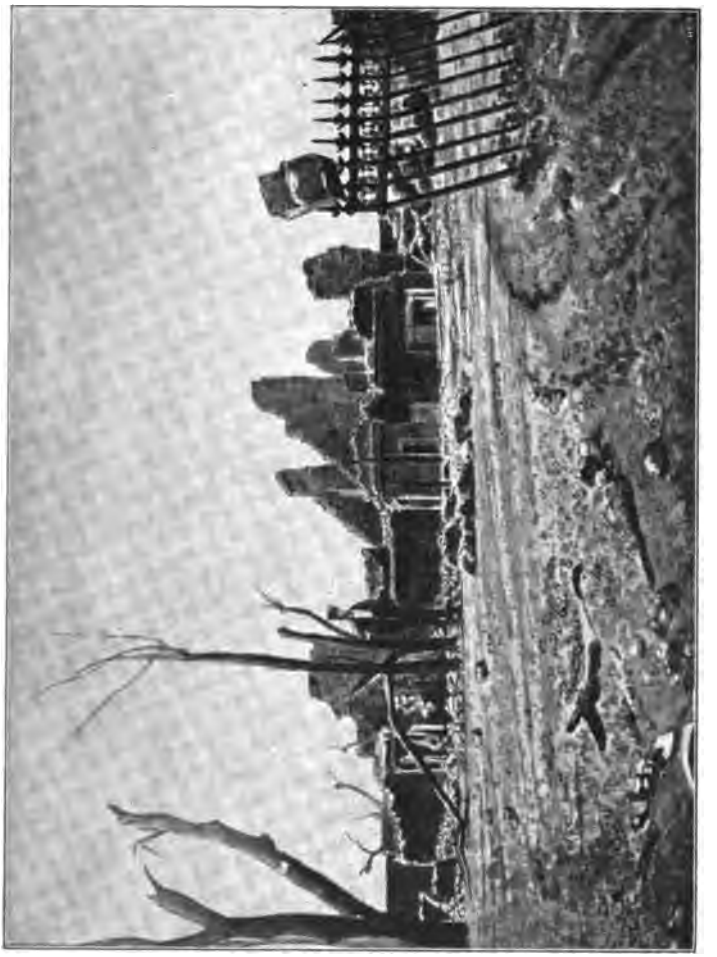


Fig. 89. Straßenbild aus dem zerstörten St. Pierre. Nach Anderson und Flett.

erfaßt oder von den zusammenkrachenden Häusern erschlagen zu werden! Denn daß solche Erscheinungen bevorstünden, das galt bei den meisten als ausgemacht. Den ganzen Vormittag über hielt dieser phantastische Auszug aus Fort de France an, während der schlammige und alles durch und durch beschmutzende Regen die Flüchtlinge durchnäßte. Es glich der Vorgang einer vom Gewittersturm überholten und in einem engen Tale zusammengepferchten Hammelherde.

Auf Grund der Erzählungen der wenigen Augenzeugen, die sich im Augenblick der Katastrophe gerade außerhalb der von der Glutwolke betroffenen Zone befunden hatten, oder einiger Ueberlebender von den Besatzungen der bei diesem Anlaß vernichteten Schiffe auf der Rhede von St. Pierre hat der französische Geologe und Mineraloge Lacroix, welcher im Auftrage seiner Regierung baldmöglichst nach Martinique eilte, den Verlauf der Dinge am 8. Mai 1902 folgendermaßen festgestellt: Unter gewaltigen Detonationen brach urplötzlich eine mächtige, wie wellenartig sich fortbewegende Wolke aus den Flanken des Vulkans hervor, von großartigen Blitzen durchleuchtet. Mit rasender Geschwindigkeit wälzte sich das feurige Ungetüm auf dem Erdboden dahin, hüllte St. Pierre ein und gelangte erst weiter südlich davon, bei dem Orte Le Carbet zum Stehen. Vom Vulkan bis nach St. Pierre hat die Glutwolke nicht einmal eine Minute Zeit gebraucht; mit einer Schnelligkeit von 150 m in der Sekunde stürzte sie sich auf die unglückliche Stadt. Ein ebenso rasch entstandener Gegenwind hemmte bei Le Carbet ihre weitere Vorwärtsbewegung und trieb sie zurück auf St. Pierre, um hier dem wenigen, was von der Stadt übrig geblieben war, vollends den Garaus zu machen!

Noch lag der Schrecken des Himmelfahrtstages auf Martinique, noch zitterten und bebten die so schwer heimgesuchten Bewohner der Insel, als der Berg am 20. Mai sein verhängnisvolles Spiel aufs neue begann. „Früh am Morgen schon er-

tönte sein Brüllen und Lärmen, betäubender sogar, als am 8. Mai. Dunkle, von Blitzen nach allen Richtungen durchzuckte Rauchwolken wirbelten auf und ließen, während sie seitlich abflossen, Asche fallen. Auf der Ostseite des Berges, oberhalb Ajoupa-Bouillon, entstand eine neue Öffnung; ihr entströmten heiße Schlammassen, die sich durch das nördliche Küstenland bis an das Meer hinabwälzten und dieses stellenweise ins Kochen brachten. An dem gleichen Tage wurde auch das Wasser des Flüßchens „Capot", das mehrere vom Gipfel des Pelé kommende Bäche aufnimmt, plötzlich heiß. Außerdem stürzte wieder eine Hochflut an der Westküste landeinwärts und richtete in Carbet erheblichen Schaden an." (Dressel.)

Am 8. und am 20. Mai wurde ein Hagel von großen und glühenden Steinmassen auf die Ruinen der Stadt geschleudert, und auch in Fort de France brach die Panik wiederum los. Man hätte meinen können, ein Meer von brennender Materie würde hoch oben in der Luft über dem Orte dahingejagt. Vollends die auch dieses Mal wieder rasch eintretende Finsternis verwirrte den Leuten den Kopf. Die ganze Insel schien zu erzittern und wie von den Meereswogen gewaltsam hin und her geschaukelt zu werden. Ein jeder glaubte, sein letztes Stündlein sei gekommen. Die See stieg rasch über 15 m des normalen Wasserstandes und überschwemmte die an der Nordseite liegende Stadt Basse-Pointe. Alle Erscheinungen, die am Himmelfahrtstage zur Geltung gekommen waren, wiederholten sich nochmals, und der Jammer und das Elend wurden noch größer. Die gesamte Nord- und Nordwestküste Martiniques schien dem endgültigen Untergange geweiht zu sein.

Den Monat Mai hindurch blieb der Vulkan in gesteigerter Tätigkeit, die sich besonders durch Schlammströme auszeichnete, welche nach verschiedenen Himmelsrichtungen hin vom Berge herniedersausten und auch den nördlichen Teil St. Pierres bedeckten, stellenweise in einer Mächtigkeit von 60—90 m. Diese Schlammasse war im Anfang Juli schon so weit erhärtet, um ein

Begehen derselben zu gestatten, befand sich aber im Innern noch in glühend heißem Zustand, und an verschiedenen Stellen, wo Erdrutsche vorkamen, zeigte sich starke Dampfentwicklung.

Mehr oder minder gewaltige Paroxysmen ereigneten sich dann am 6. Juni, am 9. Juli, am 30. August und bis in den Dezember hinein, und auch im Jahre 1903 war der Berg noch nicht zur Ruhe gekommen. Alle diese Phänomene hatten durchaus denselben Charakter, wie der erste Ausbruch am Himmelfahrtstage 1902. Lacroix konnte das Herausschießen solcher Glutwolken während seines Aufenthaltes in Martinique mehrfach beobachten und hat berichtet, daß diese im Augenblick ihres Heraustritts einer kompakten und wenig umfangreichen Masse glichen, die sich aber sofort mächtig ausdehnte und eine blumenkohlartige oder hirnförmige Gestaltung annahm, dabei dann auch von tiefen Furchen durchzogen erschien, die immer größer und größer wurden. War die Wolke hell erleuchtet, so zeigte sie eine dunkelgraue, etwas ins Rötliche spielende Färbung, des Abends war sie schwarz, glutrot in der Nacht. Alsbald nach ihrem Austritt sauste die Wolke am Bergabhang nieder und folgte hier dem tiefeingeschnittenen Tale der Rivière Blanche bis zum Meere hin. Die Plötzlichkeit im Erscheinen und in der Ausdehnung der Glutwolken, ebenso die Geschwindigkeit ihrer Bewegung haben bei den Bewohnern der Martinique den Eindruck hervorgerufen, als ob der Berg sich öffnen und durch und durch spalten würde. Fortwährend rollten die blumenkohlartigen Ballen der Glutwolke mit großer Schnelligkeit durch- und übereinander hin, indem sie sich dabei ständig vergrößerten und ausdehnten, so daß der Umfang des Gebildes immer mehr wuchs, je weiter es vorwärts eilte, um alsbald eine zuweilen an 4000 m hohe Wolkenmasse darzustellen, die in einer nur vom Zuschauer in ihrer ganzen Größe und ihrem ganzen Schrecken erfaßbaren Majestät dahinzog (Fig. 82—87).

Nach Lacroix sollen bereits in früheren Zeiten auch an anderen Vulkanen Ausbrüche vom Pelé-Typus stattgefunden

haben, wenn auch nicht immer mit allen Eigenschaften der Glutwolken vom Feuerberg der Martinique. Bei den Eruptionen der Soufrière auf St. Vincent, am 7. und 18. Mai 1902, von dem nachher noch die Rede sein wird, kamen gleichfalls Glutwolken zum Entstehen, die jedoch in der Art ihres Austritts aus dem Vulkanschlot wesentliche Verschiedenheiten mit dem der Pelé-Wolken gezeigt haben, indem sie nicht seitlich herausgeschossen wurden, wie diese. Dagegen waren nach dem Ebengenannten die Ausbrüche des Vulkans San Jorge (Azoren) in den Jahren 1870 und 1880 typische Erscheinungen des Pelé-Typus, und auch der Paroxysmus des Bandai-San, den wir zu den ultravulcanischen Eruptionen gezählt haben, soll nach Lacroix hierhergehören, und Gleiches gilt nach dem Ebengenannten für die Ausbrüche verschiedener Vulkane Javas, so des Sémeron (1885) und des Tengguer. Angelo Heilprin ist sogar der Ansicht, daß solche Phänomene sich auch bereits in früheren Zeiten gezeigt haben, und daß der berühmte Ausbruch des Vesuv, der am 23. und 24. August des Jahres 79 die Zerstörung der römischen Städte Herkulaneum, Pompeji und Stabiä heraufbeschworen hat, von gleichen Naturereignissen begleitet gewesen ist. Ein besonderes Kapitel in seinem schönen Werke über die Tragödie auf der Martinique ist der Darstellung dieser Auffassung gewidmet.

Die Dampfwolken, welche in ruhigen Zeiten aus dem Vulkan hervorströmten, stiegen in sehr beträchtliche Lufthöhen hinauf. Heilprin hat diesen Aufstieg auf nicht weniger als 6 bis 7 englische Meilen geschätzt, im Vergleich zu dem gewaltigen Aufstieg der Explosionswolken beim Ausbruch des Krakatau (19 engl. Meilen) immerhin eine geringfügige Höhe trotz ihrer Großartigkeit.

Wie ungemein groß die Menge des vom Pelé geförderten Wasserdampfes gewesen ist, das geht aus den von Heilprin gemachten Betrachtungen hervor, wonach dieser Berg bei Anlaß des Paroxysmus vom 30. August, welchem der Genannte beigewohnt hat, in jener Zeiteinheit mehr Dampf in die Luft ge-

blasen hat, als alle Dampfmaschinen der Welt zusammengenommen in dem gleichen Zeitraum. Eine derartige Dampfwolke, die 3—4 Meilen hochsteigt, soll nach den Berechnungen des Professors Israel C. Russell nicht weniger als 4000 Millionen Kubikfuß Rauminhalt besitzen, und angenommen, daß sie 1% fester Bestandteile (Aschen u. dgl.) enthielte, würde sie 40 Millionen Kubikfuß solcher Dinge mit sich in die Luft führen. Da diese Wolke ungefähr alle fünf Minuten einen Nachschub erhält, so würde demnach der Krater jeweils während dieser Zeit 40 Millionen Kubikfuß loser Massen ausspeien, oder 480 Millionen in der Stunde, oder endlich 11520 Millionen im Tag von 24 Stunden. Dieser Wert entspräche etwa ein und ein halb mal der Menge von Sedimenten, die der Mississippi innerhalb eines Jahres dem Meere zuträgt! Mit anderen Worten: Wenn diese Voraussetzungen auf Richtigkeit beruhen, dann ist der Auswurf von festen Stoffen seitens des Pelé in jeder beliebigen Zeiteinheit während der Dauer einer mäßigen Eruptionstätigkeit mehr als fünfhundertmal größer als der Absatz des Mississippi, und darum sehr viel bedeutender als derjenige aller Flüsse dieser Erde zusammen! Die auf solche Weise täglich vom Pelé herausgeschleuderte Materie würde genügen, um eine Landfläche vom Umfang der Insel Martinique um etwa einen Fuß zu erhöhen.

Auch gewaltige elektrische Entladungen haben die verschiedenen Eruptionen des Pelé mit sich gebracht, so am 30. August ein wahres Feuerwerk von Blitzen und Funken, das die aus dem Krater hervorschießenden Wolken nach allen Richtungen hin durchzuckte. Der Donner und das Getöse des Berges wurde sogar in weiten Entfernungen noch deutlich vernommen, so auf den Inseln St. Kitts und St. Thomas (270—300 Meilen), und der Konsul der vereinigten Staaten in Maracaibo hat berichtet, daß am Morgen des Himmelfahrtstages schreckliche Detonationen dort hörbar waren, 800 Meilen von St. Pierre entfernt! Es klang, so erzählt der Ebenerwähnte, nicht etwa wie das Schießen aus schweren Geschützen, und wenn alle Kanonen Venezuelas

auf einmal abgefeuert würden, könnten sie einen solchen Lärm nicht machen. „Es war kein Feuern aus großen Belagerungsgeschützen, es war kein Gewitterdonnern, noch das unheimliche unterirdische Geräusch, wie es bei Erdbeben vorkommt, nein, es war, wie wenn gewaltige Explosionen hoch oben in den Wolken stattfänden!“ Ähnliche Dinge hat schon Humboldt bekannt gemacht. Als am 30. April 1812 die Soufrière von St. Vincent in einen Paroxysmus geriet, vernahm man ein erschreckendes unterirdisches Getöse, das wie Kanonendonner erklang, bei Calabozo und am Rio Apure, an einer 192 geographische Meilen weit von dessen Einmündung in den Orinoco belegenen Stelle, also in etwa 800 Meilen direkter Entfernung von St. Vincent! Der Lärm, den der Krakatau im Jahre 1883 gemacht hat, soll auf einem Flächenraum wahrgenommen worden sein, der etwa dem fünfzehnten Teil der Erdoberfläche entspricht, und in einer Entfernung von mehr als 3000 km, also an Orten, die so weit vom Berge abliegen, wie Ägypten, Jerusalem, Spitzbergen und Grönland von Paris. Ja, noch mehr, es ist sogar behauptet worden, daß man das Getöse auf den südlich von Kuba belegenen Kaiman-Inseln gehört habe, den Antipoden des Krakatau, und daß sich die Schallwellen durch die Masse des Planeten hindurch fortgepflanzt hätten!

Wie der Ausbruch des Krakatau, so hatten auch diejenigen des Pelé und der Soufrière Dämmerungserscheinungen in ihrem Gefolge, die auf dem weiten Erdenrund beobachtet worden sind.

Sehr schwer ist es, sagt Heilprin, einen Vergleich zwischen der Intensität der Explosion des Pelé am 8. Mai 1902 und derjenigen bei andern uns gut bekannten großen Ausbrüchen andrer Vulkane zu ziehen, es sei denn in höchst ungenauer Weise. Wenn die Gewaltäußerungen lediglich gemessen werden sollen nach der mechanischen Arbeit des Vulkans (Wegblasen und Zusammenstürzen ganzer Berge), nach der Menge der ausgeschleuderten Massen, nach der Höhe, bis zu welcher diese letzteren hinaufgewirbelt werden, und nach den Erschütterungen,

welche die Explosionen hervorbrachten, dann steht der Ausbruch des Pelé den Eruptionen des Papandayang (1772), Asamayama (1783), Skaptar Jökull (1783), Timboro (1815), Coseguina (1835), Krakatau (1883), Tarawera (1886), Bandai-San (1888) und wahrscheinlich auch noch vielen Paroxysmen des Vesuv, des Ätna und des Mauna-Loa wesentlich nach. Wie unbedeutend erscheint die Menge des vom Pelé ausgeworfenen Materials gegenüber demjenigen, das der Bandai-San abgegeben hat! Letzteres betrug nach offiziellen Schätzungen 1 Billion 587 Millionen Kubikyards (1 Yard = 91,439 cm), also 1,20 cbkm, die 27 Quadratmeilen bedeckten. Und diese ungeheure Masse war doch nur der fünfzehnte Teil der beim Krakatau-Ausbruch in die Luft getriebenen festen Substanzen (4,3 englische Kubikmeilen), und ein Hundertstel nur von dem, was der Timboro 1815 in die Atmosphäre hinaufblies (28,6 englische Kubikmeilen). Dazu kam beim Bandai-San noch der gewaltige Tornado, der sich mit einer Geschwindigkeit von 90 Meilen in der Stunde fortpflanzte.

Aber wenn man die Sache von einem andern Standpunkte aus betrachtet, wenn man bedenkt, daß dem Ausbruch des Bandai-San nur 166 Häuser und 461 Menschenleben zum Opfer gefallen sind, und diese Zahlen vergleicht mit der beispiellosen Zerstörungswut des Pelé, der eine ganze massiv gebaute Stadt von großer Ausdehnung zu Staub zerrieben und viele tausend menschliche Wesen vernichtet hat, dann steht die Kraftäußerung, die der Vulkan auf Martinique betätigt hat, und deren Wucht auch nicht annähernd geschätzt werden kann, weit obenan unter allen diesen ungeheuerlichen Ereignissen. Und wenn der Krakatau-Paroxysmus von 1883 mit Beziehung auf die Plötzlichkeit der explosiven Vorgänge und auf die dadurch verursachten großartigen Störungen auf der See und in der Atmosphäre allen andern vulkanischen Ereignissen, von denen die Geschichte weiß, den Rang sicherlich abläuft, so kann man auch vom Mont Pelé sagen, daß die Intensität und die Geschwindigkeit seiner tod-

bringenden Glutwolke, die gewaltigen magnetischen Störungen, die seine Eruption erzeugte, und die dabei außergewöhnlich stark entwickelten elektrischen Erscheinungen am 8. Mai und später ihresgleichen in der neueren Erdgeschichte suchen dürften.

Soviel vom Pelé! Wir wenden uns jetzt zu den Ereignissen auf St. Vincent[1]). Dort erhebt sich im Norden der Insel der 1130 m hohe Feuerberg der Soufrière, ein Vulkan von echt klassischer Gestalt. „Um den einfachen, kegelförmigen Kraterberg, der in seinem 800 m weiten und 150 m tiefen Trichter einen See hat, legt sich im Norden ein kolossaler Schlackenwall, die Ruine eines riesigen älteren Kraters, halbkreisförmig herum. Er ist ein getreues Ebenbild des Vesuv mit seinem Sommawall. Im Norden der Umwallung befindet sich ein kleinerer Krater, der als „neuer Krater" vom Hauptkrater oder „älteren Krater" unterschieden wird. Dieser neue Krater soll 1812 entstanden sein und die damaligen Ausbruchsmaterialien geliefert haben. Seit jener Zeit hat er sich fortwährend ruhig verhalten. Die Soufrière war bis zum Kraterrand hinauf mit großen Bäumen bewachsen und trug auf ihren Gehängen einen üppigen Pflanzenwuchs, grüne Zuckerrohrfelder und Baumwollenkulturen." (Dressel.)

Von dem Zusammenhang des Erdbebens von Venezuela im März 1812 und dem damaligen Ausbruch des Vulkans, wie auch von ähnlichen mutmaßlichen Verbindungen zwischen beiden Erscheinungen in der Gegenwart (Erdbeben von Caracas im Oktober 1901 und Soufrière-Ausbruch von 1902) ist bereits schon früher die Rede gewesen. Vielleicht, daß darum die zuletzt erwähnten seismischen Vorgänge in Venezuela die Bewohner des Eilandes hätte warnen sollen. „Wer jedoch auf St. Vincent", sagt Pater Dressel, „hatte eine Kenntnis von diesen so weit zurückliegenden Begebenheiten?"

---

[1]) T. Anderson and J. S. Flett, Report on the eruptions of the Soufrière, in St. Vincent, in 1902, and on a visit to Montagne Pelèe, in Martinique. In: Philosophical Transactions Roy. Society of London, Ser. A., vol. 200, London 1903.

Der Paroxismus der Soufrière wurde am Morgen des 7. Mai durch Dampfexplosionen und am Rande des Kraters auf- und niedertanzende Flammen eingeleitet. Schrecken und Panik verbreiteten sich unter einem großen Teil der Bevölkerung. Der Vulkan tobte und brüllte, 8—10000 m hohe Dampfsäulen schossen aus seinem Schlund hervor, Aschen und glühende Steine hagelten auf die Flanken des Berges, besonders auf dessen Ostseite, nieder, heiße Schlammströme folgten, welche in den Talungen des Wallibu und des Dry River zum Meere hinabjagten, wohl aus dem Kratersee kommend. Diese schlimmen Erscheinungen steigerten sich im Laufe des Vormittags, und gegen 2 Uhr am Nachmittag stürzte eine blitzende und stark nach schwefeliger Säure riechende Glutwolke, genau wie diejenige des Pelé, mit rasender Geschwindigkeit den Berg hinab. Wir würden etwa das gleiche wiederholen müssen, was wir bereits beim Ausbruch des Martinique-Vulkans kennen gelernt haben, wenn wir den Vorgang in seinen Einzelheiten schildern wollten. Auch diese Wolke vernichtete im Moment alles Lebendige, das mit ihrem giftigen Qualm in Berührung kam, da aber die meisten Menschen schon geflohen waren, so wirkte sie auf St. Vincent nicht in dem Maße todbringend, wie bei St. Pierre. Weitere Aschenregen und wolkenbruchartige Phänomene folgten, heiße schlammige Fluten wurden von den Flüssen des Berges in die Täler hinabgewälzt, schwarze Dunkelheit bedeckte die Erde. Eine ungeheure Zerstörung brach über den Norden der Insel herein. Die Häuser wurden zu brennenden Trümmerhaufen, ganze Waldungen und Plantagen lagen versengt zu Boden, meterhoher Schlamm und heiße Asche bedeckten Fluren und Felder. Dabei brüllte der Berg ohne Unterlaß, „gleich einem Riesentier, das große Schmerzen leidet".

Nur wenige Minuten hat das Vorbeisausen der Glutwolke gedauert, aber trotzdem hat sie 2000 Menschen das Lebenslicht ausgeblasen. Auch hier, wie beim Pelé, glich sie in ihrem Verhalten beim Niedergehen einer Flüssigkeit und hinterließ

kolossale Mengen Aschen und Sand auf dem von ihr berührten Gelände. Den ganzen Tag über hielt die Dunkelheit an, und erst mit dem Anbruch des folgenden Morgens legte sich allmählich die Wut des Vulkans. Am 18. Mai brach er von neuem aus, doch erreichte dieser Paroxysmus die Stärke des ersten nicht mehr.

Wenn man die Vorgänge am Pelé und an der Soufrière miteinander vergleicht, so wird man von der Übereinstimmung in den Ausbruchserscheinungen beider Vulkane rasch überzeugt. Heiße Wassergüsse, dann Aschen- und Steinregen, beide die verheerenden Schlammströme erzeugend, die verhängnisvollen Glutwolken, starke elektrische Phänomene, große magnetische Störungen und der Mangel eines jeglichen Lavaausflusses, das sind die für die vulkanische Tätigkeit auf den Kleinen Antillen im Jahre 1902 bezeichnenden Eigentümlichkeiten. An der Soufrière hat sich das Ganze rascher, dafür aber auch um so intensiver abgespielt, als auf der französischen Insel. Das verwüstete Gebiet ist hier ein viel umfangreicheres, und die ausgeworfenen Massen sind viel bedeutendere, sogar die Hitze und Gewalt der Glutlawine scheint stärker gewesen zu sein, wenn auch der Verlust an Menschenleben ein sehr viel geringerer gewesen ist, als auf der Martinique. St. Vincent hatte übrigens nur 42500 Bewohner, davon etwa 2500 Weiße, und auf Martinique lebten vor der Katastrophe 187000 Seelen.

Die Soufrière hat auch mehr Schlackenbomben und Steinblöcke ausgeschleudert, und zwar solche von bedeutender Größe. „Man fand Steinbomben von 1½ m Durchmesser, noch in 4 englischen Meilen Entfernung vom Krater fielen Schlackenbomben von 1 m Durchmesser. Bis nach Kingstown, also 12 Meilen weit, flogen Steine von der Größe eines Hühnereies. Die Menge der ausgeworfenen Aschen und Sande ist geradezu erstaunlich. Sogar auf der Insel Barbados, die 250 km ostwärts von St. Vincent liegt, lag morgens am 8. Mai so viel Asche, daß man dieselbe auf zwei Millionen Tonnen berechnete.“ (Dressel.)

Die Gesteine, welche die beiden Vulkane zu Tage förderten, gehören der Gruppe der andesitischen Felsarten an.

Der Verlauf eines Vulkanausbruches, wenn es sich nicht gerade um eine plinianische Eruption großen Styles handelt, ist in seinen allgemeinen Zügen fast immer derselbe. Sehr oft stellen sich vor dem eigentlichen Ausbruchsakte allerhand für das bevorstehende Ereignis charakteristische Erscheinungen ein, Vorboten, wozu beispielsweise auch zuweilen das Versiegen von Quellen gehört, das wir bereits weiter oben kennen gelernt haben. Auch lokale Erdbeben sind derartige, eine vulkanische Eruption ansagende Erscheinungen, die in besonders starkem Maße beim Wiedererwachen eines lange Zeiträume hindurch im scheinbarem Todesschlafe gelegenen, oder bei der Auftürmung eines neuen Feuerberges auftreten, so 18 Jahre vor dem gewaltigen Paroxysmus des wieder tätig gewordenen Vesuvs im Jahre 79 n. C., und vor der Geburt des am 26. Februar 1770 entstandenen Izalco in San Salvador. In geringerer Intensität sind solche Erderschütterungen jedoch die gewöhnlichen Vorboten vieler Vulkanausbrüche, am Ätna fast immer, sehr oft am Vesuv. Die beträchtliche Vermehrung und Temperaturzunahme der vom Vulkanschlot ausgehauchten Gase und Dämpfe pflegen ebenfalls zu den Dingen zu gehören, welche eine erhöhte Tätigkeit in der darunter befindlichen Esse anzeigen, wie das 1902 am Mont Pelé der Fall war, und zwar bereits im Februar, also 3 Monate vor der Katastrophe, und derartig, daß in St. Pierre und dessen Nachbarschaft die silbernen Gegenstände durch den beträchtlichen Schwefelwasserstoffgehalt der Atmosphäre förmlich geschwärzt wurden. Schon volle zwei Jahre vor dem Ausbruch des Trölladyngja auf Island machte sich im Umkreise von 162 km um diesen Vulkan der Schwefelwasserstoff dermaßen bemerkbar, daß die Vogelwelt ungemein darunter zu leiden hatte. Hier und da sind auch noch unterirdische Geräusche, fernem grollenden Donner ähnlich, ebenso das Zurücktreten des Meeres von seinen Ufern und eine plötzliche Hebung dieser letzteren (Monte Nuovo

in den Phlegräischen Feldern bei Neapel, im September 1538) als unmittelbare Vorläufer vulkanischer Ausbrüche beobachtet worden.

Bei denjenigen Ausbrüchen besonders, die wir als strombolianische gemischte kennen gelernt haben, beginnt die eigentliche eruptive Tätigkeit meist mit stärkerem Aschen- und Lapilliregen, die für die nähere, und je nach der größeren oder geringeren Intensität der eruptiven Gewalten, auch für die weitere Umgebung des Vulkans äußerst verhängnisvoll werden können. Daß diese Aschenmassen bei vulkanischen Essen, die in plinianischem oder ultravulcanischem Sinne arbeiten, unsägliches Unheil bewirken können, das geht aus dem bereits an verschiedenen Stellen Gesagten klar hervor. Soll doch nach den Angaben von Junghuhn[1]) und Verbeek der Timboro auf Sumbawa, einer der Sundainseln, anläßlich seiner bereits erwähnten plinianischen Eruption zu Anfang April 1815 an 150 Kubikkilometer fester Bestandteile auf die umgebenden Inseln und den Ozean ausgeschüttet haben — nach anderen Schätzungen sogar 300 Kubikkilometer! Die fünffache Menge eines solchen Aschenregens würde nach Mercalli[2]) genügen, um einen Berg aufzutürmen, der größer wäre, als der Ätna! Der Berg selbst, der vorher 4000 m Meereshöhe besaß, wurde auf weniger als 2800 m erniedrigt. Auf Sumbawa selbst erlitten 12000 Menschen den Tod infolge dieses Aschenregens; 40000 andere mußten auf der 120 km davon entfernten Insel Lombock Hungers sterben, weil die dicke Aschenschicht, die auf dieses Eiland niedergefallen war, die Ernte gänzlich vernichtet hatte. Die Nacht, in der das geschah, lebt heute noch in der Erinnerung der Bewohner der Kleinen Sundainseln als „Schreckensnacht der Aschen" fort.

In der Geschichte des Vesuvs sind Aschen- und Lapilliregen, die großes Unheil verursacht und zuweilen arge Panik bei den

[1]) Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Leipzig, 1857.
[2]) I vulcani attivi della terra.

Einwohnern der Ortschaften an seinem Fuße und Neapels hervorgerufen haben, keine Seltenheiten[1]). Plinius der Jüngere hat in seinen beiden Briefen an Tacitus über den Tod seines Onkels, des großen Naturkundigen Plinius des Älteren eine ergreifende Schilderung solcher Vorgänge, die sich im August 79 n. Chr., beim Wiedererwachen des Vulkans von Neapel aus tausendjährigem Schlafe abgespielt haben, gegeben[2]). Auch bei der großen Eruption von 1872 und bei der jüngsten gewaltigen Betätigung seiner Kräfte im April 1906 hat dieser Berg ein solches Schauspiel vorgeführt, neben anderen Prachtstücken seines gewöhnlichen Programms, wie starke elektrische Entladungen, großartige Explosionen, Lavaergüsse, usf. Die Menge des bei dem letzten Ereignis auf den Berg selbst und dessen weitere Umgebung ausgeworfenen vulkanischen Materials in fester Form ist auf mindestens 211 Millionen Kubikmeter, = einem Würfel von 595 m Seitenlänge geschätzt worden[3]). Die geförderten Lavamassen traten gegenüber diesen Aschenmengen bedeutend zurück und dürften zum mindesten nur etwa 5 725 000 kbm groß gewesen sein, = einem Würfel von 179 m Seitenlänge. Das Verhältnis der ersteren zu den letzteren war 1 : 37. In die Nacht vom 7. zum 8. April fiel wohl der Kulminationspunkt dieser Erscheinung. Unter ständigem Grollen und donnerähnlichem Gebrüll stieg eine einer Riesenpinie vergleichbare Aschensäule aus dem Krater in die Lüfte auf, die ihre schwärzliche Fracht auf dem im Nordosten des Berges belegenen Gebiet ablud und auf die Städtchen Somma, Ottajano und San Giuseppe eine Aschen- und Lapillischicht von 40—120 cm Dicke warf. Am Morgen des 8. April drehte die Windrichtung, und nunmehr ging der unheimliche Regen auf

---

[1]) Justus Roth, Der Vesuv und die Umgebung von Neapel. Berlin, 1857.

[2]) In meiner Schrift „Vulkanische Gewalten". Leipzig, 1909, habe ich eine eingehende Darstellung des Inhalts der beiden Pliniusbriefe gegeben.

[3]) V. Sabatini, La dernière éruption du Vésuve. In: Compte rendu de la X ème session du congrès géologique international, Mexico, 1906. Mexico, 1907.

die entgegengesetzte Seite, auf Resina, Portici und Torre del Greco nieder, wenn auch hier mit sehr verminderter Heftigkeit[1]).

Die höher belegenen Teile Ottajanos (4,5 km vom Krater entfernt) erhielten eine Aschen- und Lapillischicht von 1,20 m Dicke, die niedrigeren (5,5 km vom Krater entfernt) eine solche von 0,60 m. San Guiseppe, das 7 km vom Vulkanschlot belegen ist, wurde von einer 0,70—0,80 m mächtigen Hülle dieser Materialien bedeckt. Das entspricht einem Gewicht von 0,980 bis 120 kbcm auf den Quadratmeter Fläche, da der Kubikmeter 1400 kg wiegt! Den Zustand, in welchen diese unglücklichen Ortschaften durch den Steinregen versetzt worden sind, mag die nebenstehende Figur 90, das zerstörte Ottajano darstellend, veranschaulichen.

Die Höhe des Vesuvkegels hat vor dem Ausbruch im April 1909 etwa 1330 m betragen; nach demselben war die höchste Stelle der Umwallung am neuen Krater 1250 m hoch, die niedrigste belief sich auf 1158 m. Es hat also diese Eruption den Berg um rund 100 m erniedrigt. Fiechter[2]) und Matteucci geben an, daß die Aschenpinie des Vesuv damals an 10—13000 m hoch in die Lüfte aufgestiegen sei, Bassani und Galdieri schätzten deren Höhe auf 4000 m, desgleichen Conforti und Lacroix, Mercalli auf 4—5000 m, De Lorenzo auf 7000 m. Dunkle Wolkenschleier, erfüllt von den feinsten Auswurfsmassen des Vesuvs, die Reste der Aschenpinie, zogen über Campanien, Apenninen, Apulien und bis an die östlichen Küsten der Adria hin, in allen diesen genannten Gegenden konnte das Niederfallen der Aschen mit den Atmosphärilien zusammen festgestellt werden. In den auf den 8. April folgenden Tagen liefen

---

[1]) Johnston-Lavis, The eruption of Vesuvius in April 1906. In: Scientific Transactions of the Royal Dublin Society, IX, 8, January 1909. Dublin, 1909. Dann viele Abhandlungen über diesen Gegenstand von De Lorenzo, Fiechter, Groß, Hobbs, Jaggar, Lacroix, Michael, Stübel, usf.

[2]) Appunti sulla Eruzione Vesuviana, 1905—1906. In: Bolletino Soc. Geol. Italiana, XXV, 1906.

Berichte vom Niedergehen sehr feinen Aschenstaubes aus Spanien, Paris, Berlin und verschiedenen anderen Stellen Norddeutschlands ein. So wurde beispielsweise in Neustadt an der Ostsee, Schleswig-Holstein, am 14. April gelblicher Staub aufgesammelt, der nach den Untersuchungen von Professor Brauns in Kiel alle die Mineralkomponenten der Vesuvlaven enthielt[1]).

An die Größe der Gefahr wollten die Neapolitaner erst nicht glauben, bis sie die Schrecken der niedergehenden Aschen-

Fig. 90. Die durch Aschenregen beim Ausbruch des Vesuv im Apil 1906 zerstörte Stadt Ottajano.

massen am 11. April am eigenen Leibe spüren sollten. „Noch lachte man, als man in Neapel hörte, daß am Sonntag in Nola, daß doch dreimal so weit vom Vesuv entfernt ist, wie Torre Annunziata, die Asche so dicht gefallen sei, daß die erschreckten Einwohner die Stadt verließen. Da kam heute morgen das Mene Tekel der Markthalle in Neapel. Das Dach war in einem Nu unter der Aschenlast zusammengestürzt, hatte die Seitenwände mit ihren Eisenpfeilern zum Teil zerdrückt, zum Teil

[1]) Vesuvasche an der Ostsee. Gips in der in Italien gefallenen Vesuvasche. Salzkruste auf frischer Vesuvlava. In: Centralblatt für Mineralogie usf., 1906, No. 11.

beiseite gebogen, und nun sah man nur eine Pyramide von Eisenstangen, Brettern, Tafeln, Latten, Rolläden. Im Laufe der Rettungsarbeiten wurden nach und nach zehn Tote, fünfundzwanzig Schwerverwundete und hundert Verletzte herausgezogen [1]).

„Das Meer ist grau, zerrissen, wie die Decke eines Gletschers. Seine Klippen schauen aus, als ob alle Kaminkehrer Neapels den gesammelten Ruß der Stadt über sie ausgeschüttet hätten. Die Küste Sorrents scheint von dem Strahlenmantel des Haares eines Riesenkindes verschleiert, das sich spielend über sie

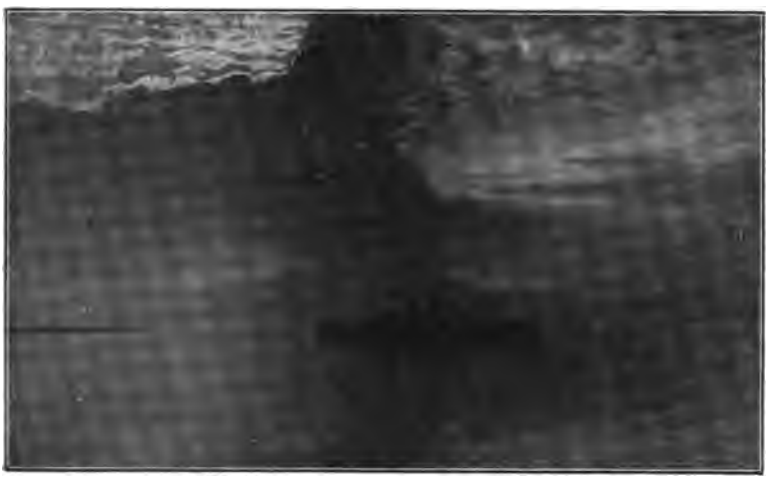


Fig. 91. Aschenpinie des Vesuv im April 1906.

beugt und den Kopfschmuck herunterhängen läßt. Wieder ein Farbenwechsel: das Meer gleicht flüssigem Lehm oder brodelndem Tischlerleim. Um zwei Uhr zwanzig wird der Himmel gelb, wie damals, als vor einigen Jahren der „Blutregen" ganz Unter-

[1]) So schrieb am 11. April 1906 der Berichterstatter der Frankfurter Zeitung, Herr Dr. Albert Zacher an die Redaktion seines Blattes. Die wertvollen Schilderungen der Ereignisse in und um Neapel während der Vesuveruption vom April 1906 hat der Ebengenannte zusammen mit seinen ergreifenden Berichten über die Erdbebenkatastrophen in Kalabrien und auf Sizilien von 1905, 1907 und 1908 in Buchform herausgegeben. „Im Lande des Erdbebens. Vom Vesuv zum Ätna". Stuttgart, 1909. Diesem Werke entnehmen wir die vorstehenden und eine Reihe der folgenden Daten und Beschreibungen.

italien rappelköpfisch machte. Beinahe kann man sich vorstellen, was ein Samum ist. Unsere Gesichter erglühen gelbrot, wir scheinen in Indianer verwandelt. Bald wird die Luft teeriger, brauner, wie der berühmte Londoner Nebel. Der Wind dreht sich und schüttet die Asche nach Neapel. Nun scheint der Himmel außer Rand und Band, er wird beängstigend rot, orange, Blitze durchzucken ihn. Das Meer ist in graue Platten zersetzt, die Erinnerung an einen Eisgang auf dem Rhein wecken. Die Küstenfetzen und Inseln ragen so stumpfbraun hervor, wie höher gelegene Ackerzipfel in einem überschwemmten Flußtal. Wer jetzt die Hand ausstreckt, kann erproben, wie sich der Himmel an Spritzmalerei erlustiert. Röter wird er, er schwält und qualmt."

Wer die vorerwähnten Briefe des jüngeren Plinius durchliest, der kann sich ein deutliches Bild von der Panik machen, welche derartige Aschen- und Lapilliregen bei den davon betroffenen Menschen hervorrufen, Schreckensszenen, die sich immer und immer wiederholt haben, so oft ein derartiger Paroxysmus eines Vulkans in bevölkerten Gegenden stattgefunden hat. In dem eben von uns angezogenen Buche Zachers ist manche ergreifende und auch manche humoristische Schilderung davon zu finden.

Bei der großartigen Förderung losen Materials in den Tagen vom 7. zum 9. April 1906 wurden viele ganz gewaltige Blöcke vom Vesuv ausgeschleudert, die auf die Gehänge des Bergkegels niederfielen, hier aber keinen Halt fanden und dann zusammen mit den Aschen, Lapillis und größeren Fragmenten geförderten festen Materials, die sie mit sich rissen, an den Böschungen des Vulkans als ungeheure Steinlawinen herniedersausten, tiefe rinnenartige Einschnitte in den Berg pflügend, so daß dessen Flanken das Aussehen eines halb geöffneten Fächers erhielten (Fig. 93). Johnston-Lavis hat solche ausgeworfene Riesenblöcke von mindestens 30 Tonnen Gewicht beobachtet. Selbstverständlich war die Wirkung dieser vulkanischen Sturzlawinen eine ungemein ver-

heerende, und von ihrer ungeheuren Gewalt zeugte der von solchen Erscheinungen vielfach fortgerissene und verbogene Schienenstrang der Cookschen Drahtseilbahn, welche den Vesuvkegel erklomm. Kam dann später Regen hinzu, der die Aschenmassen an den Gehängen durchtränkte, so waren die auf solche Weise entstandenen Furchen die geeignete Stätte für die Bildung von Schlammströmen, die mit Sturmeseile daraus hervorbrachen und allerlei Unheil anrichteten. Ein derartiger im Laufe der

Fig. 92. Der Vesuv beim Ausbruch von 1872.

Jahrhunderte zu einer steinartigen Masse erhärteter Schlammstrom dürfte es auch gewesen sein, der anläßlich des Vesuvausbruches vom Jahre 79 n. Chr. Herkulaneum begraben hat. Die vielfach verbreitete Meinung, diese Römerstadt sei durch einen Lavastrom vernichtet worden, ist irrig. Die über Herkulaneum dahingeflossenen Laven sind erst viel jüngeren Datums.

Schlammströme können auch dann hervorgebracht werden, wenn die Gipfelhöhen des Vulkanberges von einer Eis- und Schnee-

kappe überzogen sind, die bei der Berührung mit den ausgeworfenen heißen Schlacken und Aschen, wenn auch nur teilweise, ins Schmelzen gerät und dann am Berggehänge herniedersausende Gewässer erzeugt, die diese losen Materialien und auch die schon vorher an den Vulkanflanken aufgestapelten in rasendem Tempo zu Tale bringen. Ähnliches ist bisweilen am Cotopaxi der Fall, und bei anderen Feuerbergen der Anden; es sind die Avenidas, die sich gleich ungeheuren Muren unserer Alpen an den Flanken

Fig. 93. Durch Aschen- und Steinlawinen erzeugte Rinnen am Vesuvkegel, März 1909. Nach einer durch Herrn Dr. H. Spethmann gütigst mitgeteilten Photographie.

des Berges herabwälzen und sich am Fuße desselben zu riesigen Trümmerfeldern ausbreiten. Die Vulkane Javas zeigen diese Schlammströme sehr häufig, und zwar diejenigen insbesondere, deren Krater in den Ruhezuständen eine seeartige Wasserfläche beherbergt. Die Größe der jeweiligen Schlammströme soll dann im direkten Verhältnis zu der Wassermenge dieser Kraterseen stehen. Kommen dann noch die vom Berg selbst ausgestoßenen giftigen Gase und Dämpfe hinzu, so gibt es Ströme siedend-

heißen, von Säuren durchsetzten Wassers und Schlammes, die alles, was sich ihrem ungemein schnellen Laufe entgegenstellt, verheeren und verderben. Die Geschichte der Vulkane auf den Sunda-Inseln und anderen Gegenden der Erde weiß von vielen derartigen Ereignissen zu erzählen, welche unsägliches Elend hervorgerufen haben. Am 5. Mai 1902 schoß ein siedendheißer Schlammstrom urplötzlich vom Mont Pelé durch das Tal der Rivière Blanche zum Meere hinab und zerstörte binnen weniger Minuten die Zuckerfabrik von Guérin, wie wir bereits weiter oben gesagt haben, der erste Akt in der ungeheuren Tragödie, die sich in den darauffolgenden Tagen und Monaten auf Martinique und St. Vincent abgespielt hat. Gleiches ereignete sich am 20. Mai auf der Ostseite des eben genannten Berges und wahrscheinlich noch an anderen Tagen dieses Monats. Auch auf die unglückliche Stadt St. Pierre scheint nach ihrer Zerstörung noch ein derartiger Schlammstrom niedergegangen zu sein, der stellenweise 60—90 m Mächtigkeit zeigt und den nördlichen Teil ihres Weichbildes bedeckt hat. Wann dieses Ereignis vor sich gegangen ist, weiß man nicht, da nach dem Unglückstage des 8. Mai die Stadt lange Zeit verlassen geblieben war. Es mag wohl gegen Ende des obengenannten Monats der Fall gewesen sein. Jedenfalls war Anfang Juli dieser Schlammstrom schon so hart geworden, daß man denselben begehen konnte. Ströme siedenden Wassers und Schlammes hat auch der Vulkan von St. Vincent, die Soufrière, auf diese Insel hinabgesandt und hat dadurch viele Menschenleben und blühende Gelände binnen wenig Minuten zugrunde gerichtet. Wenn die unter solchen Umständen zur Ablagerung gekommenen breiigen Massen im Laufe der Äonen erhärten, werden tuffartige Gesteine daraus, in denen oftmals noch die Reste von Pflanzen zu sehen sind, welche die Schlammströme bei ihrem Fortwälzen mit sich genommen haben.

Fast bei jeder Eruption findet ein mehr oder minder reichlicher Erguß von Wassermassen statt, sei es nun, daß diese auf

die Kondensation der vom Feuerberg ausgestoßenen Dämpfe zurückzuführen sind, oder auf Wassermengen, die sich im Krater des Berges angesammelt hatten, wenn dieser letztere vor dem Ausbruch längere Zeit hindurch nicht tätig war, wie wir weiter oben sahen. Im ersteren Falle geht dieser Vorgang unter gewitterartigen Phänomenen, den vulkanischen Gewittern, vor sich die sich von den gewöhnlichen durch den Mangel jeglicher Hagelbildung unterscheiden. Die aus dem Schlot hervorschießenden Wasserdämpfe sind mit positiver, die damit hervorkommenden Aschenteilchen mit negativer Elektrizität beladen, ein Umstand, welcher stetige Detonationen und Blitze erzeugt. Auch Flammenerscheinungen kommen bei vulkanischen Ausbrüchen zuweilen vor, die meist von weißlicher Färbung sind und damit ihren Ursprung durch die Verbrennung von Wasserstoff erkennen lassen. Man hat solche Dinge an verschiedenen Vulkanen beobachten können, so am Kilauea, am Vulkan von Santorin, am Stromboli, am Vesuv[1]), und an anderen mehr!

Von den Lavaströmen und ihren verderblichen Wirkungen ist schon im vorigen Abschnitt die Rede gewesen. Doch können wir es uns nicht versagen, auch an dieser Stelle nochmals darauf zurückzukommen und eine Schilderung von dem Anblick eines Lavastromes beim Ausbruche des Ätnas im April dieses Jahres zu geben, welcher den Eindruck, den derartige Naturereignisse auf den Beschauer machen, in lebhaften Farben schildert:

„Als wir uns Nicolosi näherten, sahen wir den Ätna seine Bergwand mit einer Feuerzunge belecken, die allmählich zum Feuerstrom wurde, der sich in seinem selbst geschaffenen Bett fortwälzte. Wir konnten uns beim Anblick dieses wunderbaren Schauspiels eines tiefen Grauens nicht erwehren. Unmittelbar hinter dem Dorf beginnt eine förmliche Lavawüste. Der Ätna-Ausbruch von 1669 hatte ganz Nicolosi unter seiner

[1]) R. V. Matteucci, La comparsa die fiamme nel cratere vesuviano. In: Rendiconti delle R. Accademia dei Lincei, Classe di scienze fisiche, etc., vol. VII, giugno 1898.

Lavamasse vergraben. Die Wagen können nur bis Nicolosi fahren. Da standen nun im Dunkel der mittlerweile angebrochenen Nacht hunderte Gefährte und warteten auf ihre Insassen, die, vielfach auf Maultieren, dem unheimlichen Feuerberge zuwanderten. Für uns war kein Lasttier mehr übrig. So schritten wir denn schweigend in die Nacht hinein. Eben ging der Mond auf und übergoß die Landschaft mit seinem milden Lichte. Eine wahre Völkerwanderung zog über Lavablöcke und Lavasand dahin, manche Wanderer in den abenteuerlichsten Gewandungen. Nur selten störte ein Schrei die erhabene Stille der Stunde. Man stand unter dem ernsten Eindruck, in der unmittelbarsten Nähe einer großartigen Kraftentfaltung der ewig jungen und unerschöpflichen Natur zu sein, und bei jeder Biegung des Weges erschauerte mir das Herz in der Erwartung des großen Momentes, in dem wir dem Urgewaltigen unmittelbar gegenüberstehen würden. Längere Zeit war er durch seine Ausläufer verdeckt. Wir gingen an den Monte Rossi vorüber, den trotzig im Wege stehenden Kindern des Höllenberges, die er bei dem fürchterlichen Ausbruch von 1669 in wenigen Stunden zur Welt gebracht hatte, und ließen sie rechts liegen.

Eine Biegung des Weges — der Atem stockt; da glüht und sprüht es vor uns; wir stehen wie gebannt beim Anblick dieser grausigen Herrlichkeit! Eine düster schwarze Bergwand liegt vor uns; ein Teil des in eine Lavadecke eingehüllten Ätna. Da und dort bricht ein Feuerstrom aus und wälzt sich, rotglühende Steinklötze vor sich herschiebend oder in die Nacht hinausschleudernd, zu Tal. Dort ragt ein schwarzer Bergkegel scheinbar leblos in den Nachthimmel hinauf. Plötzlich fängt er an zu glühen. Ein feurig flüssiger Goldbach entströmt seinen Schächten und sprudelt wie ein in Feuer verwandelter Wasserfall zu ihm herunter, bisweilen einen glühenden Steinkoloß in weitem Bogen hinauswerfend, als ob ein riesiger Zyklopenarm ihn gefaßt habe und den staunenden Menschen zu Füßen stoßen wollte! Der Feuerberg veränderte fortgesetzt seine Gestalt.

Es sproßten neue Bildungen aus ihm empor, um im nächsten Augenblick in feurigem Staubregen in sich selbst zusammenzusinken und ihre Nachbarschaft mit sich fortzureißen. Nirgends Ruhe, nirgends ein in sich selbst geschlossenes Sein, überall Bewegung, Geschehen, Veränderung, Neubildung, Zusammenbruch, Auferstehung! Mikrokosmos im Makrokosmos!

Mit magnetischer Macht zog uns der ungestüme Alte zu sich hin. Wir kletterten über alte Lavaklötze, die Zeugen einstiger gigantischer Leidenschaft, hinweg, bis wir ganz nahe bei

Fig. 94. Lava, ein Gebäude einschließend Altarelli am Ätna, Ausbruch von 1886.

dem feurigen Leben waren, wo uns kaum vier Meter von dem Punkte trennten, an dem die Lavaglut kurze Zeit stand, bis sie durch die nachstürmenden Massen weitergeschoben wurde, immer weiter hinab zu den Wohnungen der Menschen. Wie friedlich grünten hier im Sonntagskleid des jungen Frühlings einige Bäume. Ein Augenblick und die Flamme züngelte an ihnen empor und sie loderten prasselnd zum Sternenhimmel hinauf. In der feurigen Umarmung des alten Feuergeistes hauchten sie ihr Blütenleben aus . . . „Gran pericolo“ (Große Gefahr!) hörten wir eine Stimme neben uns ausrufen. Ein menschenfreundlicher Italiener,

der etwas ängstlich war, zog uns sachte von der Stelle hinweg, an der wir andächtig wie eingewurzelt gestanden hatten. Eine gute Menschenstimme in dieser tosenden Brandung wütender Naturmächte! Sie rief uns zu uns selbst zurück. Ich werde sie nie vergessen, die wunderbar grausigen Stunden am Ätna und die dem Lenz entgegenschwellenden Bäume, die in einer Frühlingsnacht dem Ätna in die Arme sanken und in Glut vergingen![1])"

Fig. 95. Lavastrom vom Kilauea auf Hawaii, 1895, eine baumbestandene Wiese überriehend.

Ueber die vulkanische Natur der Schlammvulkane, heißer, gashaltiger Quellen in vulkanischen Gebieten, welche tonige und mergelige Schichten durchbrechen, dieselben nach und nach zersetzen, feine Teilchen derselben mit an die Erdoberfläche nehmen und hier einen tonigen Niederschlag um ihr Becken herum bilden, der vermöge seiner zähflüssigen Natur die Mündung der Quelle allmählich verstopfen kann, herrschen

[1]) Frankfurter Zeitung v. 7. April 1910.

Fig. 96. Lavastrom vom Vesuv im April 1906, über kultiviertes Land fließend und Bäume versengend

verschiedene Ansichten. Bei vielen derartigen Dingen gerät das im Quellrohr zurückgehaltene Wasser infolge der soeben geschilderten Umstände unter höheren Druck und schleudert dann den seinen Austritt hindernden Pfropfen unter explosionsartigen Vorgängen heraus, läßt Massen von tonigem Schlamm überfließen und ruft dergestalt einen kleinen Vulkankegel ins Leben. Diese Schlammvulkane treten immer gruppenweise auf. „Die Landschaft der Schlammvulkane rechtfertigt mehr als ihr Aufbau ihre Annäherung an die Vulkane. Das Erdreich in ihrer ganzen Umgebung ist vegetationslos und manchmal empfindlich heiß, der Ton zudem oft so weich, daß man nur mit großer Vorsicht an den Rand der einzelnen Schlammquellen herankommen kann. Das Ganze macht mit seinen brausenden und sprudelnden Quellen, den zischenden Dampfstrahlen und dem dumpfen, explosiven Geräusch der Gasblasen in den Schlammseen einen unheimlichen Eindruck, der an den eines Vulkankraters in lebhaftem Solfatarenzustand wohl erinnern mag.“ (Ratzel.) Eine bekannte Erscheinung dieser Art, eine Salse, wie die Schlammvulkane ebenfalls genannt werden, ist die Gunna auf Island. Übrigens sind sehr viele, sogar wohl die allermeisten Salsen nicht vulkanischen Ursprungs. Nach Deecke gehörten beispielsweise die Schlammvulkane Siziliens nicht hierher, wären vielmehr verursacht durch Umsetzung und Veränderung gipsiger, sehr bitumenreicher Schichten im Untergrunde und die dadurch bewirkte Entstehung von Sumpfgasen, welche die treibende Kraft abgeben. Während der Explosion treffen die herausgeschleuderten Massen in einem höheren Niveau mit Wasser zusammen, eine für viele dieser Vorkommnisse äußerst plausible Erklärung. Gümbel hat solche nichtvulkanische Salsen Schlammsprudel genannt, eine sehr empfehlenswerte Bezeichnung derartiger Erscheinungen.

Siebenter Abschnitt.

Unterseeische Eruptionen.

Unterseeische Ausbrüche. Thoulets neue Darstellungen dieser Vorgänge. Sabrina. Santorin. Ferdinandea. Die Bogoslof-Vulkane. Schlußbetrachtungen.

Sehr interessante und wertvolle Studien über die unterseeischen Vulkane verdankt die geologische Wissenschaft in neuerer Zeit dem französischen Gelehrten J. Thoulet[1]); dessen Spezialgebiet die geologisch-kartographische Darstellung des Meeresbodens ist. Wenn die Vulkane des Festlandes, so meint der Ebengenannte, bezüglich ihrer Tätigkeit und ihres Aufbaues schon ziemlich bekannt geworden sind, wenn die Wissenschaft hier manche schönen Erfolge erzielen durfte, so verhält es sich leider nicht so mit den unterseeischen Ausbruchsstellen. Ja, viele Gelehrte sind sogar der Ansicht, daß deren Existenz überhaupt recht fraglich sei. Die nach der Katastrophe auf Martinique dahin abgesandte Komission hat erklärt, daß sich auf dem in der Nachbarschaft des Feuerkegels belegenen Meeresgrunde keine topographischen Veränderungen vollzogen hätten. Mag sein, daß sie dazu berechtigt war! Noch

[1]) Les volcans sous-marins. In: Revue des Deux Mondes, 73. année, 5. période, t. 13, 1. février 1903.

besser hätte sie getan, wenn sie das weniger bestimmt ausgesprochen hätte. Rund um die Inselwelt der Antillen herum haben da und dort Brüche und Zerreißungen der untermeerischen Kabel stattgefunden, und es ist die Annahme, daß dergleichen Ereignisse vor sich gegangen sein sollten, ohne die Folgen von einem Wechsel in der Topographie des Meeresbodens gewesen zu sein, recht schwer zu verstehen. Man muß hier ja beachten, daß derartige Erscheinungen nur auf einen verhältnismäßig kleinen Flächenraum beschränkt bleiben, und daß deren Feststellung sehr genaue und sehr mühsame Untersuchungen erfordert, denn unser Blick kann die Tiefe leider nicht durchdringen, und das Lot erteilt doch jeweils nur über einen einzigen Punkt genaueren Aufschluß. Auch zuverlässige Seekarten gibt es nur erst wenige. Immerhin sind deutliche Beweise für submarine Eruptionen vorhanden, wenn es bisher der Wissenschaft auch noch nicht gelungen ist, die genaue Lage eines solchen unter dem Wasser des Ozeans verborgenen Vulkans festzustellen.

Im Jahre 1811 tauchte die Insel Sabrina in der Nachbarschaft der Azoren aus den Tiefen des Weltmeeres auf, Ferdinandea an der Südküste von Sizilien hat seit ihrem ersten Erscheinen im Jahre 1832 mehrfach wieder ihr feuriges Felsenhaupt aus dem Ozean erhoben, der Georgios im Archipel von Santorin hat zischend und fauchend die Meeresfluten durchbrochen und sich einen dauernden Platz über ihrem Spiegel erobert, im hohen Norden, bei Alaska, haben sich die Bogoslof-Vulkane aus dem Meeresgrunde aufgetürmt, Dinge, von denen noch im folgenden die Rede sein soll, und im Mexikanischen Golf ist die unter 22° 34′ 14″ und 93° 38′ 16″ belegen gewesene Insel Bermuja infolge des Ausbruchs der Montagne Pelée ganz plötzlich wieder in der Tiefe der Wogen verschwunden.

Derartige Ausbrüche finden meist in verhältnismäßig wenig tiefen Meeresräumen statt, womit auch das Auftauchen der eruptiven Massen über dem Wasser genügend erklärt sein dürfte. Für Sabrina scheint das jedoch nicht zuzutreffen, denn Lotungen

an der Stelle des nunmehr wieder versunkenen Eilandes haben Tiefen von 3500 m ergeben. Aber die Azoren und die diese Inselwelt umgebenden Meeresteile sind deshalb besonders interessant, weil sie gewissermaßen im Schnittpunkt zweier großer Zonen vulkanischer Tätigkeit liegen. Die eine derselben umzieht den Planeten und läuft über Zentralamerika, Mexiko, die Antillen, Azoren, Südspanien, den Ätna, Vesuv, Santorin, das Rote Meer, den Persischen Meerbusen, die Bahreïn-Inseln und den malayischen Archipel, während die andere der Achse des Atlantischen Ozeans folgt, und zwar über Tristan d'Acunha, St. Helena, Ascension, die Kap-Verden, Kanaren, Azoren, Madeira und die nördlichen Regionen mit dem vulkanreichen Island.

Diese Achse des Atlantik ist bekannt als eine Linie, längs welcher sehr häufig Meeresbeben auftreten, Erscheinungen, die sich durch ganz besondere Stöße an Fahrzeugen, die eben dann durch diese Gegenden segeln oder dampfen, kundzugeben pflegen. Man weiß heutzutage bestimmt, daß solche stoßartige Erschütterungen der Schiffe die Folge erdbebenartiger Phänomene auf dem Meeresgrunde sind, zumal sie sich meist als gänzlich unabhängig von irgendwelchen vulkanischen Ausbrüchen auf dem Festlande erwiesen haben. Noch weitere Belege für das Vorhandensein submariner Ausbruchsstellen geben die so vielfach beobachteten Kabelbrüche und die ganz eigentümliche Art und Weise, in der sich dieser Vorgang vollzieht. Die Kabel sehen nämlich aus, als ob sie mit Gewalt zusammengerissen worden seien. Dann lassen sich auch tatsächliche Umwälzungen am Meeresboden konstatieren, so im griechischen Meere und im malayischen Archipel. Von Ausströmungen von Schwefelwasserstoffgasen auf dem Meeresgrunde bei Ajaccio, zwischen den Sanguinaires-Inseln und der Küste, die in die Tiefe gebrachte Gegenstände von Silber anlaufen oder matt werden lassen sollen, wird ebenfalls erzählt.

Englische Kabelgesellschaften haben besonders in den jüngstverflossenen Jahren an den Gestaden der verschiedenen

vulkanischen Eilande Lotungen zum Zweck der Legung der Telegraphendrähte vornehmen lassen, die klar und deutlich dartun, daß diese Inseln einen Steilabsturz in die Abgründe des Meeres besitzen und von tiefen Rinnen durchzogen werden, genau so wie, die Vulkane des Festlandes. Die submarinen Gehänge von Tristan d'Acunha zeigen 33°, die von der Paulsinsel sogar 62°, und überall, im Golf von Guinea, an den Azoren, an Jan Mayen, den Liparischen Inseln, an Santorin, der Amsterdaminsel und den Eilanden des Banda-Meeres und des Gesellschaftsinseln-Archipels lassen sich ähnliche Verhältnisse erkennen. Überall, wie das auch bei den Feuerbergen auf den Kontinenten zu sehen ist, ist das Gehänge in unmittelbarer Nähe des Kraters immer am größten.

Manche dieser Vulkaninseln erheben sich auch auf einem gemeinsamen Fundament und lösen sich erst in einer gewissen Tiefe in einzelne Pfeiler auf, wie die Azoren, die Gesellschafts-Inseln, die Fidschi-, die Samoa-Eilande und andere mehr. Nachdem sich auf dem Meeresboden aus den festgewordenen eruptiven Massen erst ein massiver gemeinsamer oder einzelner Grundsockel mit geschrägten Flanken gebildet hatte, mußte dieser an Höhe und Umfang infolge der noch später ausgebrochenen feurig-flüssigen Materialien in der Gestalt von Laven oder losen Gesteinen immer mehr und mehr zunehmen. Und auch ferner noch, wenn der Vulkankegel sich schon über den Wellen erhoben hatte, trugen die von seinen Abhängen in die Fluten rollenden Bruchstücke viel zur Verfestigung und Ausdehnung des vulkanischen Unterbaues bei. Mag sein, daß auch von unten her in den Sockel sich einstauende Magmamengen dabei mitgearbeitet haben.

Auf solche Weise haben sich manche submarine Vulkane im Laufe der Zeiten bis über den Meeresspiegel emporrecken können, und wenn das möglich gewesen ist, warum sollte es dann nicht ebenfalls solche geben, die noch auf ihrem Wege dahin begriffen sind, wenn vielleicht auch noch recht fern vom

Ziel befindlich? Solche, die noch tief unten in den salzigen Wassern des Ozeans versteckt sind, und deren Vorhandensein oft nur ganz zufällig durch eine besonders glückliche Lotung entdeckt wird?

Nun gibt es wahrscheinlich noch ein anderes Mittel, das uns bei der Auffindung submariner Ausbruchsstellen dienlich sein könnte. Das ist die Untersuchung der vulkanischen Sedimente auf dem Meeresboden. Man darf ja nicht die Annahme gewisser Ozeanographen teilen, die des Glaubens sind, die von dem Meerwasser zersetzten staubartigen Ablagerungen seien überall etwa die Hauptbestandteile des Tiefseeschlammes. Das ist eine ganz irrige Ansicht. Diese Sedimente sind vielmehr nur an gewissen Stellen zu finden und leicht zu erkennen. Der Fürst von Monaco hat die bei seinen Meeresuntersuchungen heraufgekommenen Grundproben aus den vulkanischen Arealen der Azoren, Kanaren und Kap-Verden, etwa 200 an der Zahl, Thoulet zur Untersuchung übergeben, der von dem gleichförmigen Aussehen dieser Dinge überrascht war. Neben kohlensaurem Kalk organischer Herkunft, Bruchstücken von Foraminiferen und anderen Tieren, den wesentlichen Konstituenten des Schlammes, waren Körnchen von Basalt, Feldspat, Hornblende, Augit, Magneteisen, vulkanischen Schlacken, blasigen und dichten vulkanischen Gläsern und Bimsstein darin enthalten. Mit Hilfe des Mikroskops ist die genaue Bestimmung dieser Mineralien keine große Sache.

Wenn man einmal später, meint Thoulet, im Besitze genauer lithologischer Karten des Meerbodens sein wird, so wird man zweifellos sehen, daß diese Materialien nicht unregelmäßig in der Tiefe verteilt, sondern vielmehr in gesetzmäßiger Weise ausgebreitet sind, und zwar mit Beziehung auf die Eruptionsstelle, aus der sie herausbefördert wurden, ganz einerlei, ob diese in der Form eines einfachen Schlotes oder einer spaltenartigen längeren Kluft auftritt. Aller Wahrscheinlichkeit nach werden die sehr viel leichteren Bimssteine am weitesten

entfernt von dem Eruptionsorte vorkommen, während naturgemäß die schlackenartigen Teile, die blasigen Gläser und besonders die dichten Obsidiane in größerer Nähe dieses letzteren liegen bleiben müssen. Und so wird es dann gelingen, mit Hilfe der Verbreitung dieser vulkanischen Massen auf dem Meeresgrunde die ungefähre Lage des submarinen Feuerschlotes zu ermitteln, dessen genauere Situation alsdann durch Lotungen gesucht werden müßte, zumal sehr wahrscheinlich entweder eine kraterartige Depression des Bodens mit jäh abfallenden Konturen oder auch eine domartige und abgeschrägte Erhöhung sein Dasein anzeigen werden. Die geringen Mengen von Tiefseeschlamm und das Hervortreten des nackten Felsbodens an der betreffenden Stelle des ozeanischen Bodens werden weitere Kriterien für diese Feststellungen liefern, wenn sich diese Umstände leider auch nur auf negative Weise kundgeben werden, nämlich durch den Mangel jeder Grundprobe im Fangapparate des Lotes, oder auch durch den Riß und den gänzlichen Verlust dieses letzteren[1]).

Was nun das Aussehen der von einem unterseeischen Vulkan aus den Tiefen der Erde herausgeschleuderten Massen betrifft, so verdanken wir Thoulet auch in dieser Hinsicht äußerst wertvolle Mitteilungen. Zuerst etwas über die Schlacken! Schwarz, braun oder rötlich gefärbt und sehr porös gleichen sie den in feine Teilchen zersprengten festländischen Gebilden dieser Art. Oftmals aber haben sie infolge ihres langen Verbleibs im Meerwasser eine chemische Umwandlung durchgemacht, die durch eine Oxydierung des darin enthaltenen Eisens verursacht wird und ein Zersetzungsprodukt hervorruft, das man als Palagonit zu bezeichnen pflegt. Die vulkanischen Gläser sind blasig oder auch dicht wie Bouteillenglas, und wer sie einmal gesehen

---

[1]) Über diese Dinge siehe auch: E. Philippi, Die Grundproben der Deutschen Südpolar-Expedition 1901—1903. Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903, herausgegeben von E. von Drygalski, II. Bd., Heft VI. Berlin, 1910, und: O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, Bd. I, Stuttgart, 1907.

hat, verkennt sie wohl nicht wieder. Der Challenger hat sogar nußgroße Stücke davon mitgebracht, bei denen nur der Kern noch glasig war, während die ganze Hülle aus Palagonit bestand. In der Umgebung der Azoren sind diese Dinge von hellgrüner Farbe, und wahrscheinlich wird das in anderen Gebieten des Ozeans ebenso sein. Dabei sind sie äußerst dicht, wie etwa zerstoßenes und ausgewaschenes Flaschenglas und höchstens ein bis zwei Zehntel eines Millimeters groß. Wenn man gewöhnliches Glas von dunklerer Färbung zerstößt und dann durchwäscht, oder auch Obsidian von Mexiko und den Liparen, kann man diese submarin gebildeten vulkanischen Gläser täuschend nachmachen. Thoulet hat, um über die Entstehungsweise dieser Gesteine Aufschluß zu erhalten, derartiges Glas und solche Obsidiane im Tiegel geschmolzen und den Schmelzfluß mit kaltem Wasser übergossen, der sofort zerspratzt wurde, und zwar in äußerst kleine eckige oder rundliche Fragmente, förmliche mikroskopische batavische Tropfen, die schon bei einem ganz leichten Stoß in winzige Stäubchen zerfielen. Diese künstlich erzeugten Splitterchen glichen in jeglicher Weise so sehr den submarinen vulkanischen Staubmassen, daß man beide Sorten miteinander vermischen könnte, ohne daß es gelänge, die echten von den nachgemachten zu unterscheiden.

Das letzte hier zu beachtende vulkanische Produkt ist der Bimstein, der graue Farbe besitzt, daneben eine ausgesprochene Fluidalstruktur zeigt. Es ist die auf dem Meeresboden am weitesten verbreitete Gesteinsart und findet sich nicht nur an bestimmten Plätzen, sondern zuweilen auch vereinzelt noch in großer Entfernung von jedem vulkanischen Areal, und dann auch in verhältnismäßig großen Stücken. Diejenigen Bimssteine, die von festländischen, oder besser gesagt, von übermeerischen Eruptionen herstammen, sinken nicht im Wasser unter, es sei denn, daß sie zu feinen staubförmigen Teilchen zerrieben sind. Alles, was von derartig entstandenen Bimssteinen in größeren Stückchen ins Meerwasser gerät, bleibt an der Oberfläche und

fällt dem Spiel der Wellen zum Opfer. Die Strömungen tragen diese Dinge oftmals in weite Fernen, bis sie irgendwo einmal ans Ufer geworfen werden und dort liegen bleiben, um vielleicht recht bald wegen ihrer sehr großen Zerreiblichkeit zu Sand zu zerfallen.

Anders die aus submarinen Vulkanen stammenden Bimssteine! Bei ihrem Austritt aus dem Schlot sind ihre Poren erfüllt von heißen Gasen, und sobald sie in Berührung mit dem kalten Meerwasser kommen, werden sie zerspratzen, genau so wie der Schmelzfluß, von dem weiter oben die Rede war. Das Wasser dringt in ihre Poren ein und beschwert sie. Unter gewissen Umständen mögen ihre Bruchstücke in den Stand gesetzt werden, bis zu einer bestimmten Höhe aufzusteigen, sofern ihre Dichtigkeit derjenigen des Wassers absolut gleich ist, und hier schwimmen, meist aber müssen sie am Boden bleiben und hier die schon beschriebene palagonitische Umwandlung erleiden. Zur Meeresoberfläche gelangen sie aber niemals. Man kann das auf experimentellem Wege höchst einfach nachweisen. Erhitzt man ein Stück Bimsstein, und wirft es darauf in ein Gefäß mit Wasser, so taucht es unter und verharrt auf dem Boden des Gefäßes, legt man jedoch ein kaltes Stück hinein, so schwimmt dasselbe oben und bleibt dabei, selbst wenn man das Wasser im Gefäß gehörig durchschüttelt. Thoulet sagt, er habe solche Bimssteinbrocken jahrelang auf diese Weise schwimmend erhalten. Größere und kleinere Stücke des submarinen Bimssteins können nun von den in tieferen Regionen des Ozeans dahinfegenden Strömungen weithin mitgeführt werden, wie wir denn solche da und dort in großer Ferne von ihrem mutmaßlichen Ursprungsorte finden. Davon war ja schon weiter oben die Rede. Auch bei dem Ausbruchsvorgange selbst dürften Strömungen erzeugt werden, die ihrerseits schon den Anfang zu der Verbreitung des Bimssteins auf dem Boden des Ozeans machen.

Auf welche Weise mag nun eine submarine Eruption vor sich gehen? Der Boden öffnet sich und speit seine glutflüssigen

Massen aus. Die Wasserdämpfe werden im Meerwasser sofort kondensiert werden müssen, die Schwefelwasserstoff-, schwefligsauren, salzsauren Gase und die Kohlensäure nimmt das Meerwasser ebenfalls sogleich in sich auf. An der Wasseroberfläche ist nichts bemerkbar gewesen, höchstens daß einige der Auflösung zufällig entgangenen Gasblasen zerplatzen werden, wohl wegen des Seegangs in kaum wahrnehmbarer Weise. Alles, was von den in der Tiefe erfolgenden Umwälzungen oberflächlich zu verspüren sein wird, beschränkt sich im wesentlichen auf die schon erwähnten Stöße, die gerade über der Eruptionsstelle dahinfahrende Schiffe treffen, oder auch auf eine sehr große Welle, die urplötzlich auf dem Meeresspiegel auftaucht, eine von den Seeleuten wohlgekannte Erscheinung. Diese Sturzwelle vermag weitere Flächenräume am Meeresgrunde mit großer Geschwindigkeit zu durchmessen; erreicht sie dann die Nähe des Festlandes, wo das Wasser seichter wird, dann muß sie emporkommen, und zwar wohl noch in ihren Wirkungen verstärkt durch Intermittenzbewegungen, die sie Unebenheiten des Seebodens in der Nähe des Ufers und ähnlichen Dingen verdankt. Das sind dann unheimliche Ereignisse, die schon viele Opfer gefordert haben. Denn das von einer derartigen mit rasender Eile heraufbrechenden Sturzwelle betroffene Fahrzeug wird förmlich hochgehoben, geht aus seinen Fugen und muß sofort sinken. In nächster Nähe der über dem Ausbruchspunkt belegenen Meeresstelle müssen wohl auch Wasserwirbel und heftige Strömungen hervorgebracht werden, die man natürlicherweise bei hoher See und schlechtem Wetter kaum festzustellen vermag. Nur ganz ausnahmsweise wird man die richtige Ursache dieser Dinge mit Sicherheit ermitteln können.

Wie sieht es aber während dieses Vorganges auf der Meeresoberfläche in den Tiefen der See aus?

Die vom Feuerschlund ausgeworfenen glutflüssigen Massen müssen sich, sobald sie mit dem Meerwasser des Grundes, das nur wenige Grade Wärme besitzt, zusammentreffen, genau so

verhalten wie der batavische Tropfen; sie werden in ihren oberflächlichen Teilen sogleich zerspratzen. Je nach der Natur des emporgedrungenen Magmas werden entweder schlackige Gebilde, blasige oder dichte Gläser, oder auch Bimssteine entstehen. Aber die im Glutbrei vorhandenen heißen Dämpfe müssen sich gleichzeitig kondensieren und infolgedessen die Gesteinsbrocken und Gesteinssplitter am Aufsteigen an die Meeresoberfläche hindern. Von dem Umfang und der Dichtigkeit der Stücke und Stückchen hängt es dann ab, ob sie lediglich durch die aus dem Eruptionsvorgange resultierenden Bewegungen nur auf eine geringe Entfernung von der Schlotmündung fortgetrieben werden, oder ob ihnen, wie etwa den Bimssteinen, und besonders den größeren und blasigen Brocken dieser Felsart, die Möglichkeit gegeben ist, bis zu einer gewissen Höhe im Meerwasser emporzukommen, um hier von den Strömungen erfaßt und weit hinweg getrieben zu werden. Immerhin nehmen auch diese, wenn auch langsam, Wasser auf, das sie nach und nach beschwert und im Verlauf ihres Weges ihr allmähliches Wiederhinabsinken in die tiefen Meeresräume zur Folge haben kann, so daß sie dann, wenn auch, wie schon gesagt, in weiter Entfernung von ihrem Ursprungsorte, endlich am Boden liegen bleiben.

Alle diese eruptiven Materialien erleiden in größerem oder geringerem Maße die Umwandlungen in die palagonitische und in ähnliche Substanzen, von denen schon weiter oben das Nötige mitgeteilt worden ist.

Wenn endlich der in Zerspratzung übergegangene Teil der ausgebrochenen Glutmasse auf dem Meeresgrunde verteilt und fortgebracht sein wird, bleibt eine dichte, an ihrer Oberfläche wohl mit größeren blockartigen Stücken übersäte Erhebung auf dem Meeresboden zurück, die unter der nunmehr vorhandenen Erstarrungskruste wie unter einer Schutzdecke einer langsamen Erkaltung entgegengeht. Dieses Gebilde, das auch von durch Abkühlung hervorgerufenen Klüften durchzogen werden mag, muß wohl recht wahrscheinlich einem Hügel mit geneigtem Ge-

hänge gleichen. Durch erneute Ausbruchstätigkeit an derselben Stelle wird der Hügel im Laufe der Zeit höher und höher, um endlich den Sockel einer Vulkaninsel zu bilden, die eines schönen Tages aus den Meereswogen emportauchen kann, gerade so, wie dies bei der Amsterdam-Insel, der Pauls-Insel und noch so vielen anderen, die im Weltmeer zerstreut sind, der Fall gewesen ist.

Einige Beispiele derartiger submariner Eruptionen mögen hier noch aufgeführt werden. Wir haben die wichtigsten derselben schon im vorhergehenden kurz berührt und wollen unsere Bemerkungen darüber noch in etlichen Punkten ergänzen.

Sabrina im Archipel der Azoren hat in geschichtlichen Tagen fünfmal von sich reden gemacht, aber immer nur für kurze Zeit. 1658 und 1691, dann 1720 und 1811. In diesem letztgenannten Jahre kam eine Vulkaninsel von etwa 90 m Höhe zur Ausbildung, die eine zentrale Krateröffnung besaß. Ihr Leben war nur ein recht ephemeres, und schon nach wenigen Jahren blieb von Sabrina nicht viel mehr übrig. Anno 1867 fand vor Terceira ein neuer Ausbruch statt. Eine Insel tauchte dieses Mal nicht aus den Wogen auf, wohl aber erschienen Schlacken an der Meeresoberfläche und Flammen, die vom Verbrennen der aufsteigenden Gase herrührten (Kohlenwasserstoffe und reiner Wasserstoff).

Santorin, eine der Zykladen, ist ein alter, vom Meere durchbrochener Krater, der mancherlei Ausbrüche erlebt hat[1]). Im Jahre 97 vor unserer Zeitrechnung erstand Palaea-Kaimeni etwa im Zentrum dieser vulkanischen Bucht, 46 nach Christus bildete sich eine weitere Insel, die sich mit der ersteren vereinigte; durch fernere Ausbrüche im Jahre 726, dann 1573 nahm das neue Eiland zu. Das 18. Jahrhundert sah die Geburt einer zweiten größeren Insel im Golf von Santorin. Nea-Kaimeni kam zum

[1]) Fouqué, E. Santorin et ses éruptions. Paris, 1879.

Vorschein. Die Anfänge seiner Entstehung fallen in die Jahre 1707—1712. Damals war es schon zu einem kegelförmigen Gebilde von etwa 100 m Höhe herangewachsen, das einen Krater von ungefähr 80 m Durchmesser hatte. Nur wenige Spuren der vulkanischen Tätigkeit zeigten sich in den folgenden 150 Jahren, bis im Januar 1866 die unterirdischen Gewalten von neuem und in großartiger Weise entfesselt wurden. Schwefelwasserstoffgase und weiße Dämpfe entströmten dem Meerwasser, das zu sieden anfing, und am 4. Februar stieg ohne besonderes Geräusch eine glutige Masse aus der Tiefe auf, die bereits nach wenigen Stunden schon 25 m lang und 8 m breit geworden war, bei 10 m Höhe, und sich drei Tage später schon in einen Berg von 70 m Länge auf 30 m Breite und 20 m Höhe verwandelt hatte, den man dem griechischen König zu Ehren „Georgios“ taufte. Flammenerscheinungen, die auf dem glühenden Berge auf- und niedertanzten, sind dabei beobachtet worden.

Gleich darauf fand die Vereinigung des neuen Vulkans mit Nea-Kaimeni statt, während im Südwesten dieser Insel noch ein anderes Riff aus dem Wässer emporbrodelte, das ebenfalls stetig an Höhe und Umfang heranwuchs und den Namen Aphroëssa erhielt. Im Mai war auch dieses in Zusammenhang mit Nea-Kaimeni getreten.

Inzwischen war der Georgios nicht untätig geblieben. Mehrfache Ausbrüche von glühenden Steinen und Aschen waren aus seinem Scheitel erfolgt, jedoch ohne daß es zu einer eigentlichen Kraterbildung gekommen wäre. Diese Massen wurden aus Spalten herausgeschleudert, die den Berg in nordsüdlicher Richtung durchzogen. Im August kam dann eine Krateröffnung zur Entstehung, welche Lavamassen aussandte, die viel zur Vergrößerung des Eilandes beitrugen, in der Gestalt 1 km langer Ströme, die aber 100—200 m Dicke besaßen. Im Laufe der darauffolgenden Jahre wiederholte der Georgios diese Ausbrüche, und im Herbst 1870 war Nea-Kaimeni etwa viermal größer geworden als vor Beginn der Eruptionsphase von 1866.

Ähnlich wie die Geschichte Sabrinas ist diejenige der Insel Julia oder Ferdinandea, deren Geburt in das Jahr 1831 fällt[1]). Am 28. Juni stiegen unweit der Südküste von Sizilien, zwischen dieser und Pantellaria, gewaltige Rauchwolken aus dem Meere auf, das Wasser wurde wie bergartig aufgetürmt, und am 18. Juli kam die Insel zuerst zum Vorschein, aus deren Krater ständig Aschen und Schlacken ausgeworfen wurden. An der betreffenden Ausbruchsstelle war durch Lotungen kurz vorher eine Tiefe von etwa 200 m gefunden worden. Die Rauchsäule wurde immer mächtiger und soll bis 500 m hoch in die Lüfte aufgestiegen sein, die Insel nahm immer mehr zu; im Anfang August hatte sie einen Umfang von 4800 m. Aber bereits Ende September war das nur aus ausgeworfenen losen Massen und nicht etwa aus Laven zusammengesetzte Eiland wieder auf 700 m Umkreis reduziert, bei 33 m Höhe, und Ende Dezember war es völlig verschwunden. Die betreffende Stelle blieb aber ziemlich seicht und zeigte lange Zeit hindurch nur einen Wasserstand von 2 m.

32 Jahre später erfolgte ein neuer Ausbruch im Juli 1863. Eine Insel von 60—80 m erstand, hatte aber alsbald das gleiche Geschick wie ihre ältere Schwester. Und abermals, im Oktober 1891, regte sich hier die vulkanische Macht. Durch heftige Erderschütterungen wurde Pantellaria betroffen, während wenige Kilometer davon, im Nordosten, eine wohl 1 km lange Barre heißer Lavablöcke auf dem Meeresspiegel erschien, die Rauch und Dampf unter zischenden Geräuschen von sich gaben. Nach zwölf Tagen kam alles wieder zur Ruhe.

In der Bering-See ereignete sich im Frühjahr 1796 folgendes: Im Archipel der Alëuten kam unter erdbebenartigen Erscheinungen und donnerartigem Getöse eine dampfende Gesteins-

[1]) C. Prevost, Notes sur l'île Julia. In: Mémoires de la Société géologique de France. Paris, 1839; Hoffmann, Über das im mittelländischen Meere entstandene vulkanische Eiland. In: Poggendorfs Annalen, XXIV; C. Gemellaro, Relazioni sui fenomeni del nuovo vulcano. In: Atti Acc. Gioenia, Catania, 1834; Marzolla Descrizione dell' isola Ferdinanda, Napoli, 1831; G. Mercalli, Ivulcani attivi della, terra, Milano, 1907, usf.

masse zum Vorschein, die zur Insel heranwuchs, und aus deren Krater Steine 30 Meilen weit, bis Unnak, geschleudert wurden. 1806 besuchte Langsdorf die dortige Gegend und beschrieb das Eiland als ein pfeilerartiges Gebilde mit senkrechten Wänden. 1817 hatte es einen Umfang von $2^1/_2$ Meilen, 350 Fuß Höhe und einen drei Meilen in die See sich hinein erstreckenden Rand von Bimssteinen. Damals wurde es auch mit einem Namen belegt und Joanna Bogoslova genannt. Tebenkof sah den neuen Vulkan im Jahre 1832 und berichtete, derselbe hätte nunmehr 1500 Fuß Höhe bekommen, sei von pyramidaler Gestalt und be-

Fig. 97. Die Insel Ferdinandea im August 1831. Nach Lyell.

stünde aus einer Anzahl steiler Klippen, die aussähen, als müßten sie jeden Augenblick zusammenbrechen. So blieb im wesentlichen die Gestalt des Feuerberges, bis ihm im September 1883 ein Genosse entstand, der qualmend und dampfend in seiner Nachbarschaft aus dem Wasser emporkam, seinen Bruder bald an Umfang überragte und innerhalb kurzer Zeit zu einem spitzen Kegel von 800—1200 Fuß Höhe heranwuchs. Dieses neue Ungetüm erhielt den Namen „New-Bogoslof", während von anderer Seite derjenige „Grewingk-Vulkan" zu Ehren des russischen Forschers Grewingk vorgeschlagen wurde.

Die Offiziere des amerikanischen Regierungsdampfers „Corwin" besuchten den Vulkan am 21. Mai 1884 und waren die ersten, die ihren Fuß auf seine Felsen gesetzt haben.

Sie maßen die Höhe des Berges, etwa 500 Fuß, und stellten die Lage der kraterähnlichen Spalte fest, aus der Schwefeldämpfe, Wasserdampf und noch andere Dinge hervorkamen. Diese befand sich etwa im obersten Drittel des Berges, von dessen Gipfel gleichfalls Dampfmassen ausgesandt wurden. Allmählich bildete sich auch eine Art Landbrücke heraus, die den alten Vulkan mit dem neuen verband, doch verschwand diese wieder, und war im Jahre 1891, wo beide Berge wieder durch die See voneinander getrennt waren, nicht mehr zu beobachten. In neuester Zeit sind die beiden Bogoslof-Vulkane von Hart Merriam, einem amerikanischen Forscher, besucht und beschrieben worden[1]). Den Darstellungen dieses Gelehrten haben wir die hier angeführten Mitteilungen entnommen.

In den vorstehenden Abschnitten ist versucht worden, ein möglichst getreues Bild von der Entwicklung zu geben, welche unsere Anschauungen über den Vulkanismus im engeren Sinne in den jüngst verflossenen Jahren genommen haben, mit dem eifrigsten Bestreben nach strengster Objektivität. Wir haben die wichtigsten und die neuesten Theorien kennen gelernt, so weit solche einen begründeten Anspruch auf Wissenschaftlichkeit machen dürfen, wollen aber doch nicht verhehlen, daß es noch andere gibt, denen wir diese Bezeichnung nicht ganz zugestehen können. Solche, welche die Einwirkung kosmischer Kräfte, die Anziehung von Sonne und Mond auf die Erde und noch weitere Dinge mehr zur Erklärung der Erscheinungen des Vulkanismus im engeren Sinne heranziehen möchten, wenn auch durchaus nicht in Abrede gestellt werden soll, daß die erstgenannten Faktoren unter bestimmten Umständen vielleicht einen geringen Einfluß auf die größere oder geringere Kraftentwicklung der unterirdischen Gewalten ausüben können. Aber verallgemeinert sind dergleichen Anschauungen keine wissenschaftlichen Lehren

[1]) Bogoslof Volcanoes. In: Annual Report of the Board of Regents of the Smithonian Institution, for the year ending June 1901. Washington, 1902.

mehr, sondern Hirngespinste, Phantasien, deren Erörterung nicht in ein auf wissenschaftlicher Grundlage stehendes Buch gehört.

Die Beziehungen, welche sich nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse zwischen den Erscheinungen des Vulkanismus im engeren und denen im weiteren Sinne ergeben, sind in dem vorliegenden Werke nur hier und da erwähnt, sonst aber nicht weiter erörtert worden. Ausführungen solcher Art würden über den diesen Seiten zur Verfügung stehenden Rahmen hinausgehen. Eine andere Frage jedoch, die mit diesen Dingen zwar zusammenhängt, eigentlich aber hier doch nicht ganz unberührt bleiben kann, mag zum Schlusse noch kurz gestreift werden, diejenige, ob die vulkanische Tätigkeit im engeren Sinne gegenüber ihrer Arbeitsleistung in früheren geologischen Perioden im Abnehmen begriffen ist, oder nicht. Im allgemeinen dürfte die Ansicht der allermeisten Geologen wohl dahin neigen, diese Frage zu bejahen. Der uns bereits aus verschiedenen Zitaten in diesem Buche bekannte italienische Vulkanologe G. Mercalli[1]) spricht sich sogar mit großem Nachdruck dafür aus, indem er sagt, daß die Betätigung der unterirdischen Gluten an der Erdoberfläche in der Gegenwart eine unvergleichlich geringere sei, als diejenige, die sie in tertiären und quartären Zeiten gezeigt hätten. Man dürfe jedoch diese Sache nicht so auffassen, als ob die Abnahme der vulkanischen Intensität auf unserem Planeten eine durchaus kontinuierliche und stetig abnehmende sei. Vielmehr wechseln seiner Ansicht nach auch in der Gegenwart noch Perioden heftigerer vulkanischer Kraftentfaltung mit solchen von nur höchst unbedeutender Tätigkeit ab.

Ähnliche Ansichten hat neuerdings auch Karl Schneider[2]) geäußert. Nach diesem Forscher liegt die Annahme, daß die vulkanische Tätigkeit in der gegenwärtigen Zeit der Erde im

[1]) I vulcani attivi della terra.

[2]) Zur Geschichte und Theorie des Vulkanismus. Prag, 1908. In dieser ungemein interessanten Schrift wird man auch allerlei neue Gedanken über die zwischen dem Vulkanismus im engeren und demjenigen im weiteren Sinne vorhandenen Beziehungen finden.

Abnehmen begriffen ist, offen zutage. „Es wird schwer," so sagt der Genannte „genaue Antworten für die früheren Epochen der Erdgeschichte zu geben. Zwar zeigen sich in einzelnen Gegenden ganz bedeutende vulkanische Bildungen. Allein, die Länge der Zeit ist nicht dazu angetan, größere Schlüsse daraus zu ziehen. Haben ja nur zu oft die exogenen Vorgänge derart gearbeitet, daß man gar kein richtiges Bild der früheren Verhältnisse rekonstruieren kann. Umso deutlicher aber belehren uns die Ausbrüche und Vorgänge seit dem Neuerwachen vulkanischer Tätigkeit, seit dem Tertiär bis zur Gegenwart. Da zeigt sich denn einmal das immer weitere Abnehmen dieses Phänomens, zum anderen auch die verschiedene Art der Förderung des Magmas überhaupt.'

Schneider hat den Nachweis dafür versucht[1]), daß die Reihenfolge des Auslösens vulkanischer Energie in nahezu allen größeren Vulkangebieten der Erde in drei Phasen zerfällt, in deren erster, zu Beginn des Erwachens der vulkanischen Gewalten, ausschließlich Lava gefördert wurde, und nur in untergeordneter Weise daneben auch zerspratztes Material. Auf diese folgt nach einer Ruhepause die zweite Phase vorwiegender Tufförderung, welche dann nach abermaliger Unterbrechung durch die Phase der Gasförderung abgelöst worden ist.

Man hat sich nach Schneider diese Vorgänge nicht etwa derartig vorzustellen, daß von einem bestimmten Zeitpunkt ab überhaupt nur noch eine dieser Förderungsarten erfolgen kann. Vielmehr kann eine Phase noch in die andere, ja sogar noch in die auf diese folgende hineinreichen, ohne hier aber nur im entferntesten noch ihre frühere Bedeutung zu erhalten. In der Gegenwart verharrt seiner Ansicht nach der Vulkanismus in der fortgeschrittenen zweiten Phase seiner Entwicklung.

---

[1]) Bezüglich Islands, dessen Vulkane Schneider als einen Hauptbeweis für seine Anschauungen betrachtet, ist Hans Spethmann allerdings anderer Ansicht. (Der Aufbau der Insel Island, in: Centralblatt für Mineralogie usf., 1909, No. 20 u. 21.)

Unsere Vorstellungen über das Wesen der vulkanischen Phänomene sind, wie wir sahen, größtenteils Theorien, Rastvorstellungen, subjektive, aber keine objektive Wahrheit. Aber in der öden Wüste theoretischer Spekulationen winkt zuweilen am fernsten Horizont in rosigem Schimmer der Berg der objektiven, reinen Wahrheit. Wir glauben ihm näher zu kommen, wir erblicken schon seine grünen Weiden und seine schattigen Gehänge, wir erschauen die Pfade, die zu seinem zinnengekrönten Gipfel hinanführen, wir meinen, ihn fassen zu können — da entschwindet er plötzlich unseren Augen, er zerfließt in Dunst und Nebel. Eine Fata Morgana ist's gewesen, die uns getäuscht hat. Eine Luftspiegelung des Berges, der noch weit, unermeßlich weit vor uns liegt, dessen Bild uns jedoch ein freundliches Geschick an besonders feierlichen Tagen hervorzaubert, um unser Forschen mit frischem Mut zu erfüllen, um uns zu zeigen, daß er wirklich vorhanden ist und nicht nur in unserer Phantasie lebt, wenn es uns auch nicht vergönnt sein soll, auf seiner Warte zu stehen.

Und diejenigen, die nach uns kommen, werden sie einmal den Scheitel dieses Berges der Erkenntnis betreten dürfen? Wird ihnen das unendliche Glück beschieden sein, sich in seinen reinen und luftigen Höhen sonnen zu können, und frohlockend hinabzuschauen auf das überwundene Nebelmeer des Irrtums, das ihnen da zu Füßen wogt auf der uferlosen Sahara wissenschaftlicher Hypothesen? Oder werden auch sie sich bequemen müssen zu dem harten Geständnis, daß die ganze und volle objektive Wahrheit auch hierin dem Menschen für alle Zeiten vorenthalten bleiben soll?

Es mag ja sein, daß die Geologen künftiger, ferner Zeiten im Vollgefühl des unendlich erhabeneren Standpunktes, den sie alsdann einnehmen dürfen, einmal mitleidsvoll lächeln werden über die Errungenschaften der Wissenschaft, auf die wir so stolz sein zu können vermeinen. Aber mag ihr dereinstiges Wissen und Können noch so turmhoch über dem unsrigen stehen, mag auch ihr Blick ein unvergleichlich freierer und weitbegrenzterer

geworden sein, auch für die Menschheit der allerfernsten Zukunft werden, so glauben wir, die Worte Geltung haben, die vor bald zweitausend Jahren der Mann aus Tarsos an die Korinther geschrieben hat:

„Denn unser Wissen ist Stückwerk!“

Druck von Max Schmersow, Kirchhain N.-L.

Verein der Bücherfreunde

Gegründet 1891

Gute Bücher sind die besten Freunde!

Das deutsche Haus versorgt am besten und billigsten mit guten deutschen Büchern der

Verein der Bücherfreunde

Der Vorstand

Martin Greif, Hermann Heiberg, Ernst von Wolzogen

Die Geschäftsleitung

Verlagsbuchhandlung Alfred Schall

Hofbuchhändler Sr. Maj. des Kaisers u. Königs; Sr. Königl. Hoh. des Herzogs Carl Theodor in Bayern.

Berlin SW. 47, Großbeerenstraße 27a.

Abonnementspreis vierteljährlich: gebunden Mk. 4.50, geheftet Mk. 3.75.

Der „Verein der Bücherfreunde“

will das deutsche Haus mit ***wirklich guter deutscher*** Literatur versorgen

liefert seinen Mitgliedern — 8 Bücher — nur Werke erster ***deutscher*** Schriftsteller — ***keine Übersetzungen***

ermöglicht trotz des vorzüglichen Inhalts und trotz vornehmster Ausstattung ***für wenig Geld*** die Anlage einer Hausbibliothek (die Bücher kosten für Nichtmitglieder entsprechend dem Werte und der gediegenen Ausstattung das Zwei- bis Dreifache)

legt im Gegensatz zu den vielen jetzt bestehenden sogenannten „Kollektionen“, „Bibliotheken“, „Bücherschätzen“ usw. ganz besonderen Wert auf ***gediegene, vornehme Ausstattung*** seiner Werke, die einen ***dauernden*** Wert haben und jedem deutschen Hause ***zur Zierde*** gereichen.

Der Verein der Bücherfreunde veröffentlichte bisher
über 150 Werke erster deutscher Schriftsteller.

Mitglied kann jeder, auch Damen und im Ausland wohnende werden.

Prospekte auf Verlangen gratis und franko.

Anmeldungen nimmt jede Buchhandlung des In- und Auslandes, sowie die **Geschäftsstelle des Vereins der Bücherfreunde** in **Berlin SW. 47,** Großbeerenstraße 27a, entgegen.

Verlag von Alfred Schall, Hofbuchhändler, Berlin.

Eine der vollkommensten Schöpfungen der gefeierten Schriftstellerin

Marie Bernhard ist:

Die chinesische Mauer

Roman.

Ein starker Band von 510 Seiten. — Preis geheftet 3 Mk., gebunden in Originalleinband 4 Mk.

Von dem bestbekannten Alpenschriftsteller, Professor und Hofrat

Arthur Achleitner sind erschienen:

Bergrichters Erdenwallen

Hochlands-Roman.

Preis geheftet 3 Mk., in Originalleinband 4 Mk.

Mit ergreifender Wahrheit und viel Humor schildert Achleitner das amtliche Leben eines Bezirksrichters in Tirol. Der Roman ist eine ganz hervorragende Arbeit.

Im grünen Tann

Schwarzwald-Novellen.

Preis geheftet 4 Mk., in Originalleinband 5 Mk.

Keine Salonfiguren, sondern echte Schwarzwälder findet der Leser in diesen meisterhaften Novellen.

Der Hirsch von Esslingen

Historischer Roman.

Preis geheftet 4 Mk., in Originalleinband 5 Mk.

Ein hochinteressanter Streit zwischen der freien Reichsstadt Esslingen und dem vielbesungenen Herzog Ulrich von Württemberg bildet den Hintergrund dieses geradezu klassisch zu nennenden Romans.

Fröhlich Gejaid

Jagdgeschichten.

Preis geheftet 4 Mk., in Originalleinband 5 Mk.

Es giebt kein Buch, welches so innig in die Charaktere und die Geflogenheiten der österreichischen Bergvölker eindringt, wie diese herrlichen Jagdgeschichten.

Verlag von Alfred Schall, Hofbuchhändler, Berlin.

Ein hervorragender sozialer Roman: **11. Tausend.**

Das Leben auf der Walze

Roman von
Wolfgang Kirchbach
Mit 10 Vollbildern von Georg Koch

Preis geheftet 2.50 M., in Originaleinband 3.50 M.

Der Roman schildert die Erlebnisse eines Berliner Privatdozenten, der es unternimmt, eine Zeitlang unter dem fahrenden Volke der Landstrasse zu leben, um durch ein Buch über die Parias der heutigen Gesellschaft einen Beitrag zur Lösung der sozialen Frage zu liefern.

Eine der reifsten Schöpfungen
Ludwig Ganghofers:

Fliegender Sommer

28 Geschichten ***3. Auflage***
Preis geheftet 3.50 M., in Originaleinband 4.50 M.

Man hat bei diesem Buche stets die Empfindung mit einem Dichter zu gehen, der aus dem Vollen schöpft.

Für Freunde militärischen Humors: **8. u. 9. Tausend.**

Armeetypen

Humoresken von
Freiherrn von Schlicht

Preis geheftet 2.50 M., in Originaleinband 3.50 M.

Hamburgischer Korrespondent: Dieser Humor ist kernig-urkräftig und gentlemanlike zugleich, prickelnd wie echter Sekt, und er gewinnt noch durch eine diskrete Zutat feiner, treffender und doch dabei harmloser Satire. Die kleinen Schwächen und heiklen Punkte im Offiziers-Dasein werden verspottet, o ja, aber in der Art, dass „unter Kameraden" das niemand dem Verfasser übelnehmen wird. Jedes der acht Kapitel ist gleich lesenswert, wir möchten keinem den Vorrang vor dem anderen einräumen. Sämtlich enthalten sie hübsch und flott gezeichnete Bilder aus dem wirklichen Leben in frischen Farben, deutsche Offiziere, wie sie in natura sind, wobei der Leutnant („Den deutschen Leutnant machen sie uns nicht nach," sagte Bismarck) am besten wegkommt; hier spiegelt sich sein Bild, wie es leibt und lebt. Wer das Buch zur Hand nimmt, dem winken einige genussreiche Stunden.

Verlagsbuchhandlung Alfred Schall, Berlin SW.,
Kgl. Preuß. u. Herzogl. Bayer. Hofbuchhandlung.

Aus der Sturm- und Drangperiode der Erde

Skizzen aus der Entwicklungsgeschichte unseres Planeten

von

Dr. Hippolyt Haas,

Professor an der Hochschule zu Kiel — Geh. Reg.-Rat

3 Bände — Umfang: 930 Seiten mit 249 Abbildungen und einer bunten Tafel

Preis: gebd. M. 14.25, geh. M. 12.—.

Das Meer

Geographische, naturgeschichtliche u. volkswirtschaftliche Darstellung des Meeres u. seiner Bedeutung in der Gegenwart

von **Dr. J. Wiese**

—— Umfang: 27 Druckbogen mit zahlreichen Illustrationen ——

Preis: gebd. M. 7.—, geh. M. 6.—.

Das Geschmeide

Schmuck und Edelsteinkunde

von **H. Barth**

2 Bände — Umfang: 732 Seiten — 2 bunte Tafeln, 24 Vollbilder

Preis: gebd. M. 10.—, geh. M. 8.—.

YC 40203

QE522
H3
Haas
216159